



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA.

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.

DISEÑO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 40$ MPa), UTILIZANDO AGREGADOS DEL SECTOR DE PIFO, FIBRAS METÁLICAS, CEMENTO LAFARGE ARMADURO ESPECIAL Y ADITIVOS HIPERFLUIDIFICANTES.

TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL.

OPCIÓN ESTRUCTURAS.

PRESENTADO POR: RODRÍGUEZ IDROVO SANTIAGO OSWALDO.

TUTOR: ING. ELIECER WASHINGTON BENAVIDES ORBE.

QUITO – ECUADOR

2014

DEDICATORIA

A mi abuelita, María Alicia Ruiz, mi mamita Maru, que yo se que desde el cielo me ilumina y me da fortaleza para salir adelante cada uno de los días de vida, ya que con su ejemplo de lucha, constancia y humildad, logré llegar a culminar esta etapa tan importante de mi preparación profesional.

A mi abuelito Luis Idrovo, mi Papito Luchito, que no hace mucho partió de nuestro lado, pero que siempre estará presente con los recuerdos hermosos de felicidad, sinceridad, lucha y honestidad, ejes fundamentales que me formaron como persona y que gracias a ello estoy culminando esta etapa de mi vida, que aun continua con la bendición de mis dos angelitos en el cielo.

A mis padres Janeth y Oswaldo, por darme la vida, por cuidarme, por su ejemplo de humildad y perseverancia, por brindarme su apoyo y amor incondicional, por sus palabras de motivación y ánimo, ambos han sido pilar fundamental para mi crecimiento mental, personal y espiritual.

A mi hermana, Daniela, que con una vida llena de momentos compartidos, vivencias únicas, su ejemplo de lucha y sus consejos me ayudaron a seguir con este sueño cumpliéndolo satisfactoriamente.

A mi sobrinita, Nathalia, para que tome un ejemplo de superación y sea mejor en su vida profesional y humana.

AGRADECIMIENTO

A mi Dios, creador de todas las cosas, por darme la vida, iluminar mi camino y concederme la bendición grande y maravillosa de tener a mi familia.

A la Universidad Central del Ecuador, de manera especial a la Escuela de Ingeniería Civil, mis profesores, mi tribunal de tesis por el tiempo, confianza y apoyo entregado, de forma particular a mi tutor de tesis, el Ing. Washington Benavides, por compartir sus conocimientos y vivencias para ser un buen profesional y ser humano.

A mis queridos padres, que me han dado grandes enseñanzas las cuales han forjado en mí el ejemplo de lucha y entrega para superarme cada día.

A mi hermana Daniela y cuñado Mauricio, por el apoyo, cariño y amor incondicional, para mi superación personal.

A mi sobrinita Nathalia, que con brindarme una sonrisa pura y noble, llena de alegría mi corazón, siendo un afecto indudable para triunfar.

A Verónica, por el apoyo y afecto incondicional que me brinda a cada instante de mi vida.

A todos mis familiares, que con sus palabras de aliento y apoyo en todas las circunstancias que se han presentado, han sabido orientarme para no dejarme vencer y llegar a cumplir una meta más en mi vida.

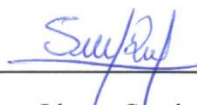
A todos ellos, muchas gracias, Dios les pague.

AUTORIZACION DE LA AUTORIA INTELECTUAL

Yo, **RODRÍGUEZ IDROVO SANTIAGO OSWALDO**, en calidad de autor de la tesis realizada sobre “**DISEÑO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 40$ MPa), UTILIZANDO AGREGADOS DEL SECTOR DE PIFO, FIBRAS METÁLICAS, CEMENTO LAFARGE ARMADURO ESPECIAL Y ADITIVOS HIPERFLUIDIFICANTES**”, por la presente autorizo a la **UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o de parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8, 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Quito, Noviembre del 2014



Rodríguez Idrovo Santiago Oswaldo

C.C. 1716724701

CERTIFICACION

En calidad de Tutor del proyecto de investigación: "DISEÑO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA ($F'C=40$ MPA.) UTILIZANDO AGREGADOS DEL SECTOR DE PIFO, FIBRAS METÁLICAS, CEMENTO LAFARGE ARMADURO ESPECIAL Y ADITIVOS HIPERFLUIDIFICANTES", presentado y desarrollado por el señor: RODRÍGUEZ IDROVO SANTIAGO OSWALDO, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, considero que el proyecto reúne los requisitos necesarios.

En la ciudad de Quito, a los 25 días del mes de febrero del 2014

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a horizontal line, positioned above a solid horizontal line.

Ing. Eliecer Washington Benavides Orbe

TUTOR

Quito, 25 de febrero del 2014

Señorita

Ingeniera Susana GUZMÁN RODRÍGUEZ,
DIRECTORA, CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Presente

De mi consideración:

En referencia a su oficio No. FI-DCIC-2013-1119 del 21 de noviembre del 2013, en mi condición de Tutor de la Tesis "DISEÑO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA ($F'C=40$ MPA.) UTILIZANDO AGREGADOS DEL SECTOR DE PIFO, FIBRAS METÁLICAS, CEMENTO LAFARGE ARMADURO ESPECIAL Y ADITIVOS HIPERFLUIDIFICANTES" desarrollado por el señor egresado de la Carrera de Ingeniería Civil, RODRÍGUEZ IDROVO SANTIAGO OSWALDO, me permito poner en su conocimiento lo siguiente:

Que habiéndose concluido en su totalidad satisfactoriamente la investigación realizada a través de la tesis mencionada, debo poner en su conocimiento este particular, considerando que se han acogido en su totalidad, todas las sugerencias y cambios emanados por mi persona y además, las que plantearon los señores miembros del tribunal respectivo.

Con este antecedente, solicito a usted, muy comedidamente se digne dar el trámite pertinente, a fin de que el señor estudiante pueda proseguir con su proceso de graduación.

Por la atención que se digne dar a este particular, desde ya me anticipo en agradecerle.

Atentamente:



ING. ELIECER WASHINGTON BENAIDES ORBE.

TUTOR.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DIRECCIÓN
RESULTADO DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

Quito DM.: 10 DE NOVIEMBRE DE 2014

Señor: RODRÍGUEZ IDROVO SANTIAGO OSWALDO

TEMA: "DISEÑO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 40 \text{ MPa}$)
UTILIZANDO AGREGADOS DEL SECTOR DE PISO, FIBRAS
METÁLICAS, CEMENTO LA FARGE ARMADURO ESPECIAL Y ADITIVOS
HIPERFLUIDIFICANTES"

CALIFICACIÓN:

TRIBUNAL	PROFESOR (A)	NOTA SOBRE VEINTE		FIRMA
		NÚMEROS	LETRAS	
PROF. TITULAR TIEMPO PARCIAL	ING. LUIS MORALES	20	VEINTE	
PROF. PRINCIPAL MEDIO TIEMPO	ING. ERNESTO PNC	20	VEINTE	
PROMEDIO		20	VEINTE	

Dra. Ruth Flores Chacón
SECRETARIA ABOGADA



CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
AUTORIZACIÓN DE LA AUTORÍA INTELECTUAL.....	iv
CERTIFICACIÓN.....	v
INFORME DEL TUTOR.....	vi
RESULTADO DEL TRABAJO DE GRADUCACIÓN.....	vii
CONTENIDO.....	viii
LISTA DE ANEXOS.....	xi
LISTA DE TABLAS.....	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xv
LISTA DE FOTOGRAFÍAS.....	xvi
LISTA DE GRÁFICOS.....	xvi
RESUMEN TÉCNICO.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN.....	xix
TÍTULO DEL TRADUCTOR.....	xx
 CAPÍTULO I.....	 1
1. GENERALIDADES.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivo Específicos	3
1.4 Alcance y Metodología	3
CAPÍTULO II	5
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Hormigones de alta resistencia, requisitos y características	5
2.2 Componentes del hormigón y propiedades físico-mecánicas	13
2.2.1 El Cemento.....	13

2.2.2 Los Agregados	20
2.2.3 El Agua de mezclado	27
2.2.4 Aditivos hiperfluidificantes.....	28
2.2.5 Fibras de Acero	33
2.3 Propiedades Físicas y Mecánicas del hormigón Fresco	36
2.4 Propiedades Físicas y Mecánicas del hormigón Endurecido	39
2.5 Propiedades del Hormigón empleando fibras de Acero.....	47
2.6 Comportamiento elástico e inelástico	54
2.7 Deformaciones	59
CAPÍTULO III.....	63
3. DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS MATERIALES.....	63
3.1 AGREGADOS	63
3.1.1 Selección de Materiales	63
3.1.2 Ubicación, características de la zona y explotación de los agregados del sector de Pifo.....	64
3.1.3 Estudio de propiedades físicas y mecánicas de los agregados del sector de Pifo... 68	
3.1.3.1 Granulometría	69
3.1.3.2 Abrasión	85
3.1.3.3 Colorimetría	90
3.1.3.4 Densidad Real (Peso específico).....	93
3.1.3.5 Densidad aparente suelta y compactada.....	100
3.1.3.6 Densidad Óptima.....	104
3.1.3.7 Capacidad de absorción	112
3.1.3.8 Contenido de humedad.....	116
3.1.4 Resumen y análisis de Resultados	120
3.1.5 Conclusiones experimentales	121
3.2 CEMENTO LAFARGE ARMADURO ESPECIAL	125
3.2.1 Propiedades Físicas y Mecánicas del cemento	125
3.2.1.1 Densidad.....	125
3.2.1.2 Superficie específica(finura)	130
3.2.1.3 Consistencia normal.....	133
3.2.1.4 Resistencia Cúbica de los morteros de cemento	137
3.2.1.5 Tiempos de fraguado del cemento	142

3.2.1.6 Contenido de aire	146
3.2.2 Resumen y análisis de Resultados.	150
3.2.3 Conclusiones experimentales	151
CAPÍTULO IV	154
4. DISEÑO DE MEZCLAS DE PRUEBA	154
4.1 Análisis de la resistencia especificada del hormigón (f'_c)	154
4.2 Análisis y cálculo de la resistencia requerida según el ACI 318-08.	154
4.3 Diseño de dosificación para mezclas de prueba en función de la resistencia requerida.....	157
4.4 Cálculos de resistencias requeridas.	158
4.4.1 Método del volumen absoluto (En concordancia con Comités ACI 211-4R-08 y ACI363-2R-08).	161
4.5 Mezclas de prueba.....	161
4.5.1 Mezcla de hormigón convencional (Patrón)	175
4.5.2 Mezcla de hormigón convencional + Variación de porcentaje de Fibras de Acero.....	190
4.6 Control de calidad	210
4.7 Clasificación de agregados.....	211
4.8 Limpieza (por lavado).....	213
4.9 Determinación experimental de la posibilidad de uso de aditivos hiperfluidificantes..	214
4.10 Marcas locales de aditivos Hiperfluidificantes.	215
4.11 Ensayos a la compresión de probetas a edades de 3, 7, y 28 días	217
4.12 Análisis de resultados.....	226
4.13 Selección de mejores resultados y/o nuevas mezclas de prueba.	235
4.14 Conclusiones preliminares	236
4.15 Curvas Tiempo versus Resistencia	236
4.16 Validación de la investigación	247
CAPÍTULO V.....	248
5. MEZCLAS DEFINITIVAS.....	248
5.1 Diseño de mezclas definitivas	248
5.2 Ensayos de probetas a edades de 3, 7, 28 y 56 días	255
5.3 Resultados de ensayos a compresión simple.....	255
5.4 Tratamiento Estadístico de Resultados	258

5.5 Curvas Tiempo versus Resistencia	284
CAPÍTULO VI.....	285
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	285
6.1 CONCLUSIONES	285
6.2 RECOMENDACIONES	289
BIBLIOGRAFÍA.....	291
ANEXOS.....	293

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Ficha técnica del cemento.

Anexo 2: Ficha técnica del aditivo.

Anexo 3: Ficha técnica de las fibras metálicas.

Anexo 4: Análisis económico del lavado de agregados finos y gruesos.

Anexo 5: Norma utilizada para la dosificación ACI 211-4R.08.

Anexo 6: Fotografías varias

LISTA DE TABLAS

CAPÍTULO II

Tabla 2.1. Consistencia del Hormigón Fresco	8
Tabla 2.2. Evolución de la resistencia a compresión de un Hormigón Portland normal.....	9
Tabla 2.3. Requisitos Químicos Cemento Armado Especial	20
Tabla 2.4. Requisitos Físicos Cemento Armado Especial	20
Tabla 2.5. Clasificación de Rocas Ígneas según su velocidad de solidificación.....	21
Tabla 2.6. Clasificación de rocas sedimentarias según el agente geológico externo	22
Tabla 2.7. Clasificación de los depósitos de rocas sedimentarias	23
Tabla 2.8. Consistencia del hormigón en función del asentamiento y su tolerancia	37
Tabla 2.9. Trabajabilidad del hormigón	38
Tabla 2.10. Índices de ductilidad por deformación.....	58
Tabla 2.11. Deformaciones del Hormigón.....	60

CAPÍTULO III

Tabla 3.1 Tamaño de la muestra para ensayo del árido grueso.....	70
Tabla 3.2. Especificaciones de la carga para ensayo Abrasivo.....	85
Tabla 3.3 Gradación de las muestras de ensayo.....	86
Tabla 3.4. Masa mínima de la muestra de ensayo de Densidad real de los agregados.....	96
Tabla 3.5. Resistencias cúbicas de morteros	138
Tabla 3.6. Tiempo de Fraguado inicial del mortero.....	153
Tabla 3.7. Contenido de aire del mortero.....	153

CAPÍTULO IV

Tabla 4.1. Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra cuando se dispone de menos de 30 ensayos.....	156
Tabla 4.2. Resistencia promedio requerida a la compresión.....	156
Tabla 4.3. Resistencia promedio a la compresión.....	157
Tabla 4.4. Asentamiento recomendado para hormigones de alta resistencia con y sin superplastificante.....	167

Tabla 4.5. Tamaño máximo del agregado grueso.	167
Tabla 4.6. Volumen del agregado grueso por unidad de volumen de hormigón. ...	167
Tabla 4.7. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire en el hormigón.	167
Tabla 4.8. Relación Agua/Materiales cementantes para concretos sin superplastificante.	168
Tabla 4.9. Resumen de resultados de las propiedades de los componentes de Hormigón	169
Tabla 4.10. Resumen de las propiedades de los componentes para fabricar hormigón	176
Tabla 4.11. Cantidades base para el diseño de las mezclas de Patrón	181
Tabla 4.12. Cantidades para 1 m ³ , Mezcla Patrón	181
Tabla 4.13. Cantidades Totales de materiales para mezcla de Patrón.....	184
Tabla 4.14. Cantidades Totales de materiales para segunda mezcla Patrón.	187
Tabla 4.15. Cantidades Totales de materiales para tercera mezcla Patrón	189
Tabla 4.16. Resumen de propiedades de los componentes para fabricación de las mezclas.....	191
Tabla 4.17. Cantidades base para el diseño de las mezclas de prueba.....	196
Tabla 4.18. Cantidades para 1 m ³ , OPCIÓN N°1	196
Tabla 4.19. Cantidades de materiales y aditivo para mezcla de Prueba opción N°1.	200
Tabla 4.20. Cantidades de materiales y aditivo para mezcla de Prueba opción N°2	204
Tabla 4.21. Cantidades de materiales y aditivo para mezcla de Prueba opción N°3.....	208
Tabla 4.22. Clasificación de los Agregados según su gravedad específica.	212
Tabla 4.23. Cuadros de resultados experimentales utilizando Sikament N-100 y GLENIUM 3000 NS	214
Tabla 4.24. Materiales utilizados para la fabricación de H.A.R	231
Tabla 4.25. Costos de los materiales para su producción.	231
Tabla 4.26. Cantidades para 1 m ³ Opción 1, utilizando 5 kg/m ³ de Fibras Metálicas.	232
Tabla 4.27. Costos Unitarios de los materiales	232

Tabla 4.28. Costo Total Directo para fabricación de 1m^3 de H.A.R, con 5 kg/m^3 de Fibras Metálicas.	232
Tabla 4.29. Cantidades para 1 m^3 Opción 2, utilizando 15 kg/m^3 de Fibras Metálicas.	233
Tabla 4.30. Costos Unitarios de los materiales	233
Tabla 4.31. Costo Total Directo para fabricación de 1m^3 de H.A.R, con 15 kg/m^3 de Fibras Metálicas.	233
Tabla 4.32. Cantidades para 1 m^3 Opción 3, utilizando 20 kg/m^3 de Fibras Metálicas.	234
Tabla 4.33. Costos Unitarios de los materiales	234
Tabla 4.34. Costo Total Directo para fabricación de 1m^3 de H.A.R, con 20 kg/m^3 de Fibras Metálicas.	234
Tabla 4.35. Análisis económico comparativo, Hormigón convencional $f'c= 21\text{ MPa}$ vs. Hormigón de alta resistencia $f'c= 40\text{ MPa}$ ($f'cr= 55.17\text{ MPa}$).....	235

CAPÍTULO V

Tabla 5.1. Cantidades para 1 m^3 , Mezcla Definitiva.....	249
Tabla 5.2. Cantidades de materiales corregidos	251
Tabla 5.3. Cantidad de agua y aditivo para mezcla definitiva.	253
Tabla 5.4. Grado de aceptabilidad del Coeficiente de Variación.....	262
Tabla 5.5. Cuadro de resumen de resultados, Desviación Estándar.....	263
Tabla 5.6. Resultados de Distribución Normal	265
Tabla 5.7. Resistencia característica, Norma Ecuatoriana de la Construcción	278
Tabla 5.8. Corrección para datos estadístico menores a 30 ensayos.....	278

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

FIGURA 2.1. Influencia de la curación del hormigón en la resistencia a la compresión	10
FIGURA 2.2. Roca Ígnea.....	22
FIGURA 2.3. Roca Sedimentaria.....	23
FIGURA 2.4. Roca Metamórfica	24
FIGURA 2.5. Propiedades físicas de seis fibras de acero disponibles.....	35
FIGURA 2.6 Falla a compresión de un cilindro y curva esfuerzo - deformación	44
FIGURA 2.7. Tensión vs Deformación del hormigón	46
FIGURA 2.8. Curvas de tracción-alargamiento de morteros en función de la tracción directa.....	49
FIGURA 2.9. Curva Carga – flecha a Flexotracción en Hormigones empleando fibras de Acero.	49
FIGURA 2.10. Diagrama de respuesta a compresión simple de HRFA con diferente Volumen de fibras (V_f), y con diferente esbeltez de probeta.....	51
FIGURA 2.11. Curva esfuerzo-deformación, hormigones de diferentes resistencias.....	55
FIGURA 2.12. Representación del Modulo de Elasticidad del hormigón.....	56
FIGURA 2.13 Deformaciones unitarias máximas en el rango elástico e inelástico.	57
FIGURA 2.14. Diagrama de esfuerzo axiales de compresión en cilindros de hormigón en proceso de carga y descarga.	60

CAPÍTULO III

FIGURA 3.1. Ubicación de la cantera “Construarenas Cía. Ltda”	64
FIGURA 3.2. Cantera “Construarenas Cía. Ltda.”	65
FIGURA 3.3. Patrón colorimétrico, para conocer el contenido orgánico en el agregado fino	90
FIGURA 3.4. Condiciones de humedad de los agregados.	116
FIGURA 3.5. Requisitos Mecánicos comparativos según Norma INEN 490 vs. Armaduro Especial.....	137

CAPÍTULO V

FIGURA 5.1. Distribución normal Gaussiana, Resistencia característica del Hormigón.	268
---	-----

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

CAPÍTULO II

FOTOGRAFÍA 2.1.- Cámara de humedad – Laboratorio de Ensayo de materiales “Universidad Central del Ecuador”	11
---	----

CAPÍTULO III

FOTOGRAFÍA 3.1. Cantera Construaarenas.	67
FOTOGRAFÍA 3.2. Producción de Agregado Fino, Cantera “Construaarenas”-Pifo.	68

LISTA DE GRÁFICOS

CAPÍTULO II

GRÁFICO 2.1. Requisitos mecánicos según norma INEN 490 y especificaciones técnicas cemento Armaduro especial.	19
---	----

CAPÍTULO IV

GRÁFICO 4.1. Resistencia vs. Cantidad kg/m^3 de Fibras Metálicas, 3 días de edad.	227
GRÁFICO 4.2. Resistencia vs. Cantidad kg/m^3 de Fibras Metálicas, 7 días de edad.	228
GRÁFICO 4.3. Resistencia vs. Cantidad kg/m^3 de Fibras Metálicas, 28 días de edad.	229

CAPÍTULO V

GRÁFICO 5.1. Curva Distribución Normal	264
GRÁFICO 5.2. Distribución Normal o Campana de Gauss	266

RESUMEN

DISEÑO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 40$ MPa), UTILIZANDO AGREGADOS DEL SECTOR DE PIFO, FIBRAS METÁLICAS, CEMENTO LAFARGE ARMADURO ESPECIAL Y ADITIVOS HIPERFLUIDIFICANTES.

La construcción se ha desarrollado industrialmente, y con sus múltiples variaciones dentro del campo de las diversas obras de ingeniería civil, se van obteniendo productos de mejor calidad, calificados y con resistencias apropiadas para la producción de Hormigones de Alta Resistencia.

La presente investigación trata sobre la utilización de agregados del cantón Pifo, provincia de Pichincha, fibras metálicas y cemento Armaduro Especial-Lafarge, con miras a obtener hormigones de alta resistencia, para lo cual se realizaron los respectivos ensayos de control de calidad, los mismos que garanticen una alta trabajabilidad, resistencia y durabilidad. Para ello se usaron adicionalmente aditivos químicos y minerales.

El objeto principal de este trabajo de investigación es obtener un Hormigón de Alta Resistencia, con la particularidad de que la resistencia requerida (f'_{cr}) es igual a 55.17 MPa, en base a una resistencia especificada a la compresión (f'_c), de 40 MPa, empleando las normas del ACI 211.4R para el diseño de las diferentes dosificaciones y las normas NTE INEN, para los ensayos de control de calidad de los materiales utilizados.

Siguiendo el proceso de la investigación, fue necesario obtener diferentes mezclas patrón preliminares, con el propósito de verificar la variación en sus resistencias mecánicas a la compresión, sin utilizar inicialmente fibras metálicas ni aditivos. Del análisis de estos resultados experimentales a edades de 3, 7, 28 días, se seleccionaron las mejores alternativas, para pasar a las mezclas de prueba con aditivo y fibras y de estas, a las mezclas definitivas. Los resultados finales nos llevaron a obtener la resistencia requerida necesaria ($f'_{cr} = 55.17$ MPa) que garantice la resistencia especificada asumida.

“DESCRIPTORES: HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA / AGREGADOS DEL SECTOR DE PIFO / CEMENTO ARMADURO ESPECIAL - LAFARGE / ADITIVOS QUÍMICOS Y MINERALES / FIBRAS METÁLICAS / PROPIEDADES FÍSICAS DEL HORMIGÓN / DISEÑO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA / CONTROL DE CALIDAD”.

ABSTRACT

DESIGN OF HIGH STRENGTH CONCRETE ($f'_c = 40$ MPa), USING AGGREGATES OF THE AREA OF PIFO, METALLIC FIBERS, SPECIAL LAFARGE ARMADURO CEMENT AND HIPERPLASTICIZERS ADDITIVES.

The construction has been developed industrially, and with multiple changes within the field of the different civil engineering works, it has been obtained best quality and qualified products with suitable resistance for the production of high-strength concretes.

This research deals with the use of aggregates of the canton Pifo, Province of Pichincha, metallic fibers and Armaduro Special-Lafarge cement, to obtain high strength concretes, and the respective quality control essays was done, which guarantee a high workability, strength and durability. Additionally, chemical and minerals additives were used.

The main purpose of this research is to obtain a high strength concrete, with the particularity that the required strength (f'_{cr}) is equal to 55.17 MPa, based on a specified resistance to compression (f'_c), 40 MPa, using the rules of ACI 211.4R for the design of different dosages and NTE INEN standards for essays of quality control of the materials used.

Following the process of this research, it was necessary to obtain different preliminary blends pattern, in order to verify the variation in their mechanical resistance to compression, without initially using metallic fibers or additives. From the Analysis of these experimental results at ages 3, 7 and 28 days, the best alternatives were selected to go through test mixtures with additive and fibers, and then to the final mixtures. The final results led us to obtain the necessary required resistance ($f'_{cr} = 55.17$ MPa) that guarantees assumed specified resistance.

KEYWORDS: HIGH STRENGTH CONCRETE/ AGGREGATES OF PIFO AREA/ ARMADURO SPECIAL - LAFARGE CEMENT/ CHEMICAL AND MINERALS ADDITIVES/ METALLIC FIBERS/ PHYSICAL PROPERTIES OF CONCRETE/ DESIGN OF HIGH STRENGTH CONCRETES/ QUALITY CONTROL.

CERTIFICADO

YO, LCDA. VICTORIA MARGARITA CARRILLO CARRASCO, PORTADORA DE LA CÉDULA DE CIUDADANÍA 1703898674, PROFESORA DE INGLÉS, CERTIFICO QUE LA TRADUCCIÓN AL INGLÉS DEL RESUMEN DE LA TESIS SOBRE **UTILIZACIÓN DE AGREGADOS DEL CANTÓN PIFO, PROVINCIA DE PICHINCHA, FIBRAS METÁLICAS Y CEMENTO ARMADURO ESPECIAL-LAFARGE, CON MIRAS A OBTENER HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA** ("USE OF AGGREGATES OF THE CANTON PIFO, PROVINCE OF PICHINCHA, METALLIC FIBERS AND ARMADURO SPECIAL-LAFARGE CEMENT, TO OBTAIN HIGH STRENGTH CONCRETES"), CORRESPONDE AL TEXTO ORIGINAL EN ESPAÑOL.

ATENTAMENTE,



LCDA. VICTORIA MARGARITA CARRILLO CARRASCO
PROFESORA DE INGLÉS
Registro N° 1005-13-1230296 SENESCYT



REPÚBLICA DEL ECUADOR
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR,

FACULTAD DE FILOSOFÍA, LETRAS Y CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

Confiera el Título de

*Licenciada en Ciencias de la Educación, Profesora
de Enseñanza Secundaria en la Especialización
de Inglés.*

A

Victoria Margarita Canillo Canasco

de nacionalidad Ecuatoriana, con identificación N° 170389867-4
por haber culminado los estudios y cumplido las disposiciones legales y reglamenta-
rias pertinentes.

Quito, 26 de Enero de 1979



El Decano

[Signature]
Dr. César Herrera Montalvo

El Secretario Asociado

[Signature]
Dr. Andrés Martínez Montalvo MSc.

El Secretario General

[Signature]
Dr. Roberto David Mena S.
SECRETARIO GENERAL (S)



SECRETARIA
GENERAL

Refrendado en el Libro de Grados, Folio 184 Fecha 2003-06-06

El Rector

[Signature]
Dr. Edgar Samaniego Rojas



Registrado en OUDE: Folio 19 N° 513 Fecha 1979-03-13
2003-04-23 Jefe de OUDE
Ing. Juan Carlos Borneo



CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Introducción

El concreto hecho con cemento Portland, tiene un uso extenso como material de construcción debido a sus características favorables. Una de las más destacadas es la relación resistencia-costo en sus diferentes aplicaciones y usos.

Desde hace mucho tiempo, el hormigón ha sido uno de los materiales más usados en la construcción, lo cual ha influenciado en el desarrollo del país. Su fundamental función se centra en la construcción de obras hidráulicas, sanitarias, estructurales y viales, las cuales han ayudado a mejorar las condiciones de vida de la población mundial.

El desarrollo técnico y constructivo del país, particularmente ha propiciado la investigación de hormigones de alta resistencia, los cuales entre otros aspectos muestran características mejoradas tales como, resistencia a la compresión, menores deformaciones, mayor densidad y resistencia a la corrosión y abrasión.

La evolución de la tecnología del hormigón ha sido lenta, por ello ha sido necesaria una mayor investigación, a fin de optimizar su uso mediante nuevas alternativas, aditivos químicos, los mismos que permitan mejorar aspectos relativos a su resistencia a la compresión y a la acción del clima y el intemperismo.

Al agregar al hormigón tradicional cementos de mayor eficiencia, agregados seleccionados e hiperfluidificantes, se está viabilizando la producción de una nueva generación de hormigones, los cuales en la actualidad están siendo cada vez objeto de mayor estudio y experimentación. Estos son los “HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA”

1.2 Antecedentes

El hombre en el transcurso de la historia se ha encargado de la búsqueda de un espacio para vivir con seguridad, calidad y protección posible; superó la época prehistórica y aplicó sus mejores conocimientos y experiencia en enriquecer su hábitat, satisfaciendo así sus necesidades básicas de vivienda.

Un gran ejemplo de los primeros hormigones naturales surgió en la Antigua Grecia, hacia el año 500 a.C., donde se mezclaban compuestos de caliza calcinada con agua, arena, piedras trituradas, tejas rotas o ladrillos, lo que dio origen al primer hormigón de la historia en la construcción.¹

En la década del 70 aparecen los aditivos minerales, con características especiales que posibilitaron la obtención del un hormigón con resistencias de 120 MPa, debido a la aparición de súper plastificantes y el humo de sílice, lo cual generó una nueva era tecnológica en el mundo de los hormigones.

La presente investigación tiene como enfoque la determinación de la dosificación optima para fabricar un hormigón predeterminado de alta resistencia adicionando fibras de acero, para lo cual se considera como base una resistencia requerida de 55.17 MPa a los 28 días de edad, teniendo como base una resistencia especificada a la compresión de 40 MPa.

La necesidad de mejorar el desempeño y resistencia de los hormigones ha influenciado en investigar complementos conocidos como aditivos, los cuales se utilizan para modificar alguna o algunas de las propiedades del hormigón.

El presente estudio se trata de obtener un hormigón especial al cual se adicionará Fibras de Acero, al cual en adelante se lo denominara HRFA (Hormigón Reforzado con Fibras de Acero). Su adición a la masa de hormigón experimentará un mejoramiento en cuanto a protección de fisuración, dándole dúctil, incrementando su resistencia a la tensión y mejorando en forma trascendental su durabilidad.

¹ Fuente: Diseño de Hormigones de Alto Desempeño- Escuela Politécnica del Ejército.

1.3 Objetivos:

1.3.1 Objetivo General

✓ Con los agregados de Pifo, cemento Armaduro Especial de Lafarge, obtener mediante el diseño y experimentación de las diferentes mezclas de hormigón, la dosificación de mejor eficiencia tanto física y mecánica, para obtener la resistencia requerida a la compresión ya mencionada ($f'_{cr} = 55.17 \text{ MPa}$).

1.3.2 Objetivos Específicos

✓ Determinar si las propiedades físicas y mecánicas de los agregados procedentes de Pifo, son apropiadas para producir hormigón de alta resistencia.

✓ Determinar cuál es la variación porcentual en cuanto a resistencia a la compresión del hormigón mencionado, al añadir las Fibras de Acero en diferentes porcentajes.

1.4 Alcance y Metodología

El alcance de la experimentación e investigación es conseguir hormigones de alta resistencia, comprobando y realizando diferentes mezclas con sus respectivas dosificaciones, tomando en cuenta la variación de la relación agua/cemento en cada caso, el aditivo hiperfluidificante y la cantidad de fibra metálica, para con ello obtener las dosificaciones más apropiadas de cada uno de los componentes del hormigón.

Se realizarán los ensayos necesarios para los agregados y del cemento en laboratorio, los cuales están normalizados en las normas NEC, para luego realizarse el análisis respectivo de los resultados.

Se elaborarán las respectivas probetas cilíndricas de hormigón estandarizadas, para ser ensayadas a la compresión a las edades de 3, 7, 28 y 56 días inclusive, para analizar su resistencia mecánica en función del tiempo. La resistencia característica (f'_{cr}) permitirá verificar el control de calidad del hormigón obtenido, ya sea en obra o en fábrica.

Se adicionaran fibras metálicas en función del volumen del hormigón obtenido, y se verificará el probable incremento en su resistencia a la compresión, lo cual deberá ser evaluado además con una mejora en el hormigón en cuanto a su mayor dureza, trabajabilidad y finalmente al beneficio / costo, parámetro que es muy importante.

De esta manera la investigación tendrá un aporte importante, tanto para profesionales como estudiantes de ingeniería, lo cual podría ser aplicado en la construcción de manera simple y sencilla.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Hormigones de alta resistencia, requisitos y características

Los hormigones de alta resistencia, además de tener elevada resistencia a la compresión, brindan mejores prestaciones en lo referente a impermeabilidad, resistencia a los sulfatos, a la reacción árido – álcalis, resistencia a la abrasión, lo cual confiere a su vez una mayor durabilidad.²

Los Hormigones de alta resistencia se identifican como aquellos que alcanzan a la rotura esfuerzos a la compresión iguales o mayores que 40 MPa (408 Kg/cm²).

Existen varios procedimientos para la obtención de estos hormigones, los cuales son conocidos a nivel nacional e internacional, que además de ser producidos, son utilizados para obras de gran envergadura e importancia estructural.

Requisitos de los componentes

Los componentes para elaboración de hormigones de alta resistencia son los siguientes:

- ✓ **Cemento:** El código ACI recomienda dos tipos de cemento Tipo I y II, con contenido significativo de silicato tricálcico lo cual debe ser mayor que los normales.
- ✓ **Agregado grueso o Grava:** Debe utilizarse un árido de resistencia mecánica alta, composición geológica sana, tamaño nominal máximo, buena adherencia, baja absorción y lavar el material a ser utilizado.

² http://www.construmatica.com/construpedia/Hormig%C3%B3n_de_Alta_Resistencia

✓ **Agregado fino o Arena:** Adecuada graduación, modulo de finura dentro de los parámetros de diseño, realizar un lavado del material para retirar material orgánico perjudicial para la dosificación.

✓ **Agua:** Utilizar Agua potable

✓ **Aditivos:** Ya sean químicos o minerales según sea su utilización y requerimientos de la mezcla.

Características del Hormigón de alta resistencia

- Las características se indican a continuación, en función del comportamiento físico y mecánico del hormigón.

1.- Resistencia a la compresión: entre 60 y 150 MPa

A las 24 horas se obtiene una resistencia mayor a 35 MPa

2.- Fluidez: con capacidad de auto compactarse

3.- Retracción de fraguado: Posee una elevada retracción de fraguado, la cual conlleva a la fisuración.

4.- Impermeabilización y compacidad: Se logra obtener acabados de mejor calidad y durabilidad.

5.- Densidad: 2200 a 2400 Kg/ m³

6.- Mezclado

El mezclado es la combinación de los elementos utilizados y el proceso a seguir.

Al fabricar un hormigón debe tomarse en cuenta que tipo de mezcla que se desea obtener, cuál será su uso y que resistencia mecánica se necesita alcanzar.

Un factor de gran importancia en el mezclado es que la mezcladora debe estar operando correctamente, lo cual garantice una combinación apropiada de los materiales dentro del tambor a través de la acción del giro y mezclado del volumen del concreto.

7.- Trabajabilidad

Es la propiedad que se manifiesta en el hormigón no endurecido, lo cual influye en el manipuleo del mismo, su transporte, colocación y consolidación adecuada, con un mínimo de trabajo y un máximo de homogeneidad en su masa; así como para evitar la segregación de sus partículas.

Las variables directas que influyen en las características físicas y por lo mismo en la trabajabilidad del hormigón, son los agregados gruesos y finos, así como la cantidad y tipo de aditivos ya sean químicos y minerales que sean incorporados; dando fluidez, plasticidad y uniformidad a la mezcla de concreto.

8.- Asentamiento

Es la propiedad del hormigón fresco de deformarse en estado plástico, es decir, en función de su fluidez se tendrá mayor o menor facilidad a deformarse. El asentamiento determina la disposición de trabajo o consistencia del hormigón, midiendo la facilidad para empujar, moldear y alisar el hormigón.

Los factores que influyen de manera principal en el asentamiento de la mezcla de hormigón son los agregados y su distribución granulométrica, los cuales se relacionan con exceso de fluidez, características deficientes de forma y textura superficial, particularmente la falta de finos en la arena y baja finura en el material cementante.

A continuación se encuentran la consistencia del hormigón en función de su asentamiento característico:

Tabla 2.1. Consistencia del Hormigón Fresco

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO (cm)	COMPACTACION
Seca	0 - 2	Vibrado
Plástica	3 - 5	Vibrado
Blanda	6 - 9	Con barra
Fluida	10 – 15	Con barra
Líquida	16 – 20	Con barra

Fuente: CONSTRUMÁTICA, Jordi Ber y Xavier Jiménez,

[http://www.construmatica.com/construpedia/Consistencia del Hormigón Fresco](http://www.construmatica.com/construpedia/Consistencia%20del%20Hormigon%20Fresco).

9.- Consolidación:

La consolidación es el proceso de compactación del hormigón fresco, bajo el cual se tiende a eliminar el aire atrapado, con el fin de evitar efectos posteriores perjudiciales tales como:

- A. Baja resistencia
- B. Aumento de porosidad
- C. Menor durabilidad

En el caso de esta investigación se tomarán como muestras de ensayo cilindros de dimensiones 10 x 20 cm, que tomando como referencia lo estipulado por la norma ASTM C-172 en la que se especifica la utilización de una varilla apisonadora empleada para compactar la masa de hormigón en tres capas sucesivas, para obtener una masa homogénea en todo su volumen y evitar una incorrecta distribución del hormigón.

El objetivo principal de su compactación es alcanzar la máxima densidad, masa uniforme y mínimo de contenido de vacíos para la obtención de un hormigón de mayor calidad.

10.- Fraguado y Endurecido

La pasta de hormigón hidráulico se forma mezclando cemento y agua, los mismos que deben rodear totalmente a los áridos. Esta pasta tiene la particularidad de que fragüe y endurezca progresivamente, tanto en el aire como bajo el agua.

Durante el proceso de endurecimiento se presenta un estado en el cual la mezcla pierde su plasticidad y se vuelve difícil de manejarla, esta fase concierne al fraguado inicial lo cual se manifiesta entre los 45 y 60 minutos y a medida que se produce el endurecimiento normal, la mezcla presenta una nueva consistencia, a lo que se le denomina el fraguado final ocurriendo en un lapso de 10 ó 12 horas transcurridas aproximadamente.

En el cuadro siguiente se observa la evolución de la resistencia a compresión de un hormigón tomando como unidad la resistencia a los 28 días, siendo cifras referenciales³.

Tabla 2.2. Evolución de la resistencia a compresión de un Hormigón Portland normal.

Evolución de la Resistencia a compresión de un Hormigón Portland normal					
Edad del Hormigón en días	3	7	28	90	360
Resistencia a compresión	0,40	0,65	1,00	1,20	1,35

Fuente: Soria, F. (1972). *Estudio de materiales: IV.-Conglomerantes Hidráulicos*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento.

³ Soria, F. (1972). *Estudio de materiales: IV.-Conglomerantes Hidráulicos*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento.

11.- Curado

Curado del hormigón es el proceso de protección del hormigón que hace posible el endurecimiento de la mezcla en condiciones óptimas de humedad, las cuales se verán reflejadas en la duración y durabilidad del mismo.

Este proceso de curado o de reposición de agua o vapor, es de suma importancia durante el proceso de endurecimiento de la mezcla, ya que las partículas de cemento pierden humedad por diferentes razones.

En cuanto a la temperatura del agua de curado y su ambiente es recomendable mantener una condición cercana a los 20 °C o evitando que sean inferiores a 10 °C.

El aspecto importante es que, existe una relación directa entre el curado y desarrollo de la resistencia del hormigón, tomando en cuenta que la reacción química del agua con el cemento, debe considerarse a lo largo de todo el periodo del endurecimiento del hormigón, por lo cual en los primeros 7 días de edad prácticamente desarrollará cerca del 80% de la resistencia a los 28 días, si es que se lo curó adecuadamente.

En el siguiente gráfico se indica la relación directa entre el tiempo y la resistencia:

FIGURA 2.1. Influencia de la curación del hormigón en la resistencia a la compresión.



Fuente: Powers, T.C., A Discussion of Cement Hydration in Relation to the Curing of Concrete, Research Department Bulletin 25, Portland Cement Association, Skokie, Ill., 1948

El correcto curado evita, tanto el secado prematuro de las zonas más externas y que están más expuestas a la evaporación, como los cambios de humedad y fisuración por retracción plástica, acción de la intemperie, abrasión o desgaste, ataque de agentes químicos y carbonatación.

Existen varias formas de curado que pueden ser aplicadas según el tipo de elemento o estructura; para nuestra investigación se ha utilizado la cámara de humedad, la cual permite mantener al hormigón en condiciones climáticas controladas de temperatura y humedad tales, que el proceso de hidratación del cemento continúe durante el mayor tiempo posible con el fin de que alcance su máxima resistencia y durabilidad, sea más impermeable y se reduzca el riesgo de fisuración.

FOTOGRAFÍA 2.1.- Cámara de humedad – Laboratorio de Ensayo de materiales
“Universidad Central del Ecuador”



Fuente: RODRIGUEZ Santiago, 11 / 04 / 2014

Una evaporación excesiva de agua en el hormigón recién colocado, puede retardar apreciablemente el proceso de hidratación del cemento a edad temprana. La pérdida de agua provoca la retracción del hormigón, generando tensiones de tracción de la superficie expuesta, las cuales pueden generar fisuras superficiales si el hormigón aún no ha alcanzado suficiente resistencia.

12.- Resistencia

La resistencia básica en el hormigón es a la compresión simple y puede definirse como:

- Es el esfuerzo máximo a la compresión que puede soportar un material, bajo una carga axial.
- Es la oposición a la deformación que presenta la masa de hormigón.

La resistencia a la compresión se cuantifica, de acuerdo a las edades y porcentajes alcanzados durante el transcurso del proceso de endurecimiento así: a los 7 días el concreto en promedio alcanza el 75%, a los 28 días el 100%, y a los 56 a 90 días alcanza de un 10 a 15% más de la resistencia a los 28 días.

13.- Durabilidad

El ACI define la durabilidad del concreto de cemento hidráulico, como la habilidad para resistir la acción del intemperismo, el ataque químico, la abrasión, o cualquier otro proceso o condición de servicio de las estructuras, que produzca deterioro del concreto.⁴

La durabilidad de una estructura de hormigón es su capacidad para soportar durante la vida útil para la que ha sido proyectada, las condiciones físicas y químicas a las que está expuesta, y que podrían provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a las cargas y solicitaciones consideradas en el análisis estructural.

Los factores que afectan en la durabilidad del concreto, se clasifican en 5 grupos:

⁴ <http://es.scribd.com/doc/59972515/Durabilidad-Del-Concreto-2010>

1. Congelamiento y deshielo
 2. Ambientes químicamente agresivos
 3. Abrasión
 4. Corrosión de metales en el concreto
 5. Reacción química en los agregados
- Existen varios beneficios característicos de utilizar los hormigones de alta resistencia, como se detalla a continuación:⁵

1.- Alta resistencia inicial: Sus elevadas resistencias iniciales permiten la puesta en servicio de la estructura a un tiempo mucho menor que con los hormigones convencionales.

2.- Ahorro Económico: Permite la reducción de tiempo de espera para retirar los encofrados, sin poner en riesgo la estructura o el personal que se encuentra en obra.

3.- Sostenibilidad: Considera una alta durabilidad de la estructura considerando que es factible trabajar con secciones más reducidas lo cual facilita la puesta en obra.

4.- Puesta en Obra: Las mezclas pueden mantener la trabajabilidad, el tiempo necesario para ser colocado en obra.

2.2 Componentes del hormigón y propiedades físico-mecánicas

2.2.1 El Cemento

El cemento es un conglomerante formado a partir de la mezcla de caliza y arcilla calcinadas para posteriormente ser molidas con yeso, lo cual le da la propiedad de endurecerse al estar en contacto con el agua.

⁵ <http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/B8A08C73-8F0C-450E-8DAF-9BF76718A967/0/Hrapid.pdf>

Los componentes del cemento son:

- ✓ SILICE (SiO_2).
- ✓ ALUMINIA (Al_2O_3).
- ✓ CAL (CaO).
- ✓ MAGNESIA (MgO).
- ✓ ANHIDRIDO CARBONICO (CO_2).
- ✓ OXIDO DE HIERRO (Fe_2O_3).
- ✓ OTROS COMPONENTES MENORES.

El proceso para producción de cemento está generalizado en cuatro etapas principales las cuales son:

1. Extracción y molienda de la materia prima
2. Homogenización de la materia prima
3. Producción del Clinker
4. Molienda del cemento

La materia prima utilizada para la elaboración del cemento es extraída de minas o canteras, que de acuerdo a la ubicación o complejidad de explotación, se utilizarán técnicas u equipos requeridos para obtención de caliza, arcilla, arena, mineral de hierro y yeso. A partir de la obtención de la materia prima se continua con el proceso de trituración para lograra una reducción de tamaños, a fin de que puedan ser procesados.

Existen dos formas de homogeneización las cuales dependerán de la utilización o no de corrientes de aire o agua para mezclar los materiales, por ello la homogeneización puede ser realizada por vía seca o por vía húmeda.

Después de calcinar la materia prima y una vez obtenido el Clinker de forma independiente del proceso utilizado en la homogeneización, es molido finalmente y de manera continua con pequeñas cantidades de yeso (4 %) para finalmente obtener cemento hidráulico.

TIPOS DE CEMENTOS

Existen diversos tipos de cemento, los cuales se diferenciarán en función de su composición físico - química, por sus propiedades mecánicas tanto durabilidad y resistencia, y además por sus destinos y utilización.

Se pueden establecer dos tipos básicos de cementos, los cuales son:

1. De origen Arcilloso: Son obtenidos a partir de la materia prima arcilla y piedra caliza.
2. De origen Puzolánico: La puzolana que es de origen orgánico o volcánico.

El Cemento Portland:

El cemento de mayor utilización como aglomerante para la preparación del hormigón es el cemento Portland, que es obtenido por medio de la pulverización del Clinker portland con la adición de yeso (sulfato de calcio).

Una de las derivaciones del cemento Portland es el cemento plástico, que es obtenido agregando materiales particulares como el calcáreo o cal, lo cual podría catalogarse como un acelerador de fraguado que a la par es más fácil de trabajar, este tipo de cemento es utilizado para revestimiento de fachadas de edificios.

Cementos Portland Especiales:

Son obtenidos de la misma manera que el portland básico, pero tiene sus características diferentes en cuanto a la variación del porcentaje de los componentes minerales que lo conforman.

- **Portland férrico:**

Cemento caracterizado por tener mayor cantidad de hierro, lo cual es obtenido por la adición de cenizas de pirita o minerales de hierro en polvo. Este tipo de cemento es

recomendable utilizarlo en climas cálidos ya que su hidratación genera mayor cantidad de calor. Tiene mayor resistencia a las aguas agresivas que el cemento plástico.

- **Cementos blancos:**

De forma inversa a los cementos férricos contiene un porcentaje bajo de hierro, su color blanco es dado por la deficiencia y presencia de alúmina.

Para compensar la reducción de hierro es necesario la colocación de fluorita y criolita que son necesarios para la fabricación en el horno, para disminuir la calidad del tipo de cemento ya sea Tipo I, Tipo II, también llamados pavi, por ello se suele añadir una cantidad extra de caliza más conocido como clinkerita para rebajar su clasificación.

Propiedades Generales del cemento:

- Resistencia alta al ataque químico.
- Resistencia a temperaturas elevadas.
- Resistencia inicial elevada.
- Alta resistencia a elementos químicos agresivos.

El cemento que se utilizará para la investigación es el tipo Portland Puzolánico Tipo IP, siendo el más utilizado en nuestro medio y que además tiene características adhesivas y cohesivas, lo cual le da la capacidad de ligar mejor los agregados. El cemento específico que se utilizará y es nuevo comercialmente en el país es el **Armادuro – Especial** de la casa comercial **Lafarge**.

FICHA TÉCNICA⁶

⁶ FICHA TECNICA. ARMADURO ESPECIAL LAFARGE S.A

ARMADURO es un cemento Portland Puzolánico Tipo IP, diseñado para la elaboración de toda clase de prefabricados de hormigón, para diferentes usos.

Características:

Resistencias

- Permite alcanzar fácilmente las resistencias a la compresión requeridas a todas las edades.
- En condiciones normales se pueden obtener resistencias a la compresión entre 50 y 60 MPa.
- Posee un progresivo crecimiento de las resistencias aún después de los 28 días de edad, puede alcanzar hasta un 20% más a los 90 días.

Resistencia a agentes agresivos

- Por su mayor compacidad, los hormigones o morteros son menos permeables e impiden acceso a agentes agresivos como son: aguas salinas, suelos sulfatados, desechos industriales, aguas servidas, etc.
- Contrarresta la reacción álcali sílice.
- Para aplicaciones con altas concentraciones de sulfatos, se pueden agregar ciertos minerales a ARMADURO.

Calor de Hidratación

- Desprende menos calor de hidratación que los cementos puros, permitiendo manejar grandes masas de hormigón.

Durabilidad

- Una de las características más importantes del cemento ARMADURO es la durabilidad, que es consecuencia de su resistencia a agentes agresivos y su continuo crecimiento de resistencia aún después de los 28 días.

Presentación

- Sacos de 50 kg.

Denominación

- Cumple con los requerimientos de la norma NTE INEN 490 (Norma Técnica Ecuatoriana) y ASTM C 595.
- La fabricación es controlada bajo un sistema de gestión de calidad
- Posee Licencia Ambiental

Aplicaciones

Con este producto se pueden elaborar hormigones para la construcción de:

- Para obras viales: Losas, puentes, pantallas, dovelas, tubos, adoquines, otros
- Aplicaciones estructurales y ornamentales: Postes, adoquines, bloques, bordillos, viguetas, otros.
- Estructuras de hormigón pre-o-postensado.

Precauciones

Almacenamiento:

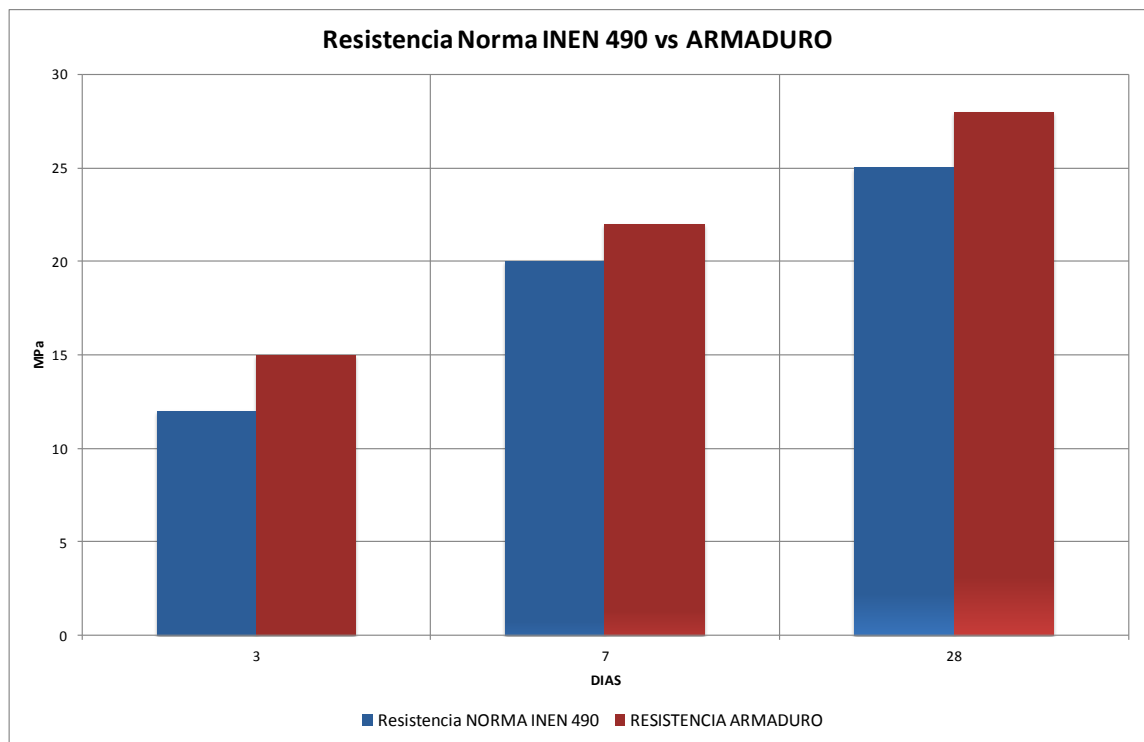
- Adquirir el cemento a distribuidores autorizados.
- Evitar contacto directo con el suelo.
- Evitar contacto con las paredes perimetrales de la bodega.
- En ambientes húmedos asegurar una ventilación adecuada.
- No exceder los 60 días de almacenamiento.

Para Aplicación:

- Emplear dosificaciones de hormigón diseñadas en un laboratorio calificado.
- Corregir periódicamente las mezclas para mantener constante el ratio a/c (la relación agua/cemento).
- Iniciar el curado lo más pronto posible y evitar desecación.

Requisitos Mecánicos

GRÁFICO 2.1. Requisitos mecánicos según norma INEN 490 y especificaciones técnicas cemento Armaduro especial.



Fuente: Ficha técnica Cemento Armaduro Especial.

Tabla 2.3. Requisitos Químicos Cemento Armaduro Especial

PARÁMETRO	INEN 490	ARMADURO
Pérdida por calcinación	$\leq 5\%$	1,4%
Magnesio (MgO)	$\leq 6\%$	2,3%
Sulfatos (SO ₃)	$\leq 4\%$	2,4%

Fuente: Ficha técnica Cemento Armaduro Especial.

Tabla 2.4. Requisitos Físicos Cemento Armaduro Especial

PARÁMETRO	INEN 490	ARMADURO
Fraguado inicial	$\geq 45\% \leq 420 \text{ min}$	120 min
Expansión	$\leq 0,8\%$	0,04%
Contenido del aire	$\leq 12\%$	4,50%

Fuente: Ficha técnica Cemento Armaduro Especial.

2.2.2 Los Agregados

Los agregados son materiales inertes también denominados como áridos, su forma es granular, que pueden ser naturales o artificiales que al ser mezclados con el cemento Portland forman una masa compacta o piedra artificial conocido como concreto.

Todo material que presente resistencia propia suficiente (resistencia de la partícula) y que no perturben ni perjudiquen las propiedades y características de la mezcla y garantice la adherencia suficiente con la pasta, es considerado como agregado.

Clasificación de los Agregados.

De forma general los agregados se los clasifica de varias maneras, tomado en cuenta su procedencia, densidad, tamaño, forma y textura.

- Clasificación según su procedencia:

Según su origen se los ha clasificado, de fuentes naturales o a partir de productos industriales u artificiales.

Agregados naturales:

Son los agregados obtenidos por medio de la explotación de fuentes naturales, tales como depósitos de arrastres fluviales como las arenas y gravas de río, o glaciares tales como cantos rodados y de canteras de diversas rocas y piedras naturales.

Basándonos en la geología histórica, por medio de fenómenos internos de la tierra se da lugar a tres tipos de rocas las cuales se detallan a continuación:

ROCAS IGNEAS: Conocidas como rocas originales o internas que resultan de la solidificación y enfriamiento del magma.

La mayor parte de la corteza terrestre está conformada por rocas originarias o ígneas de las cuales proceden las demás rocas naturales.

Las rocas ígneas pueden clasificarse según la velocidad de solidificación del magma y el lugar de la corteza terrestre donde ocurre dicha consolidación.

Tabla 2.5. Clasificación de Rocas Ígneas según su velocidad de solidificación.

DENOMINACIÓN	VELOCIDAD DE SOLIDIFICACIÓN	LOCALIZACIÓN
Intrusivas, abisales o plutónicas	Lenta	Consolidadas a gran profundidad
Filonianas o hipoabisales	Media	Consolidadas a profundidad media
Extrusivas, efusivas o volcánicas	Rápida	Consolidación cerca o sobre la superficie.

Fuente: PERAFFAN L., Antonio Geología para ingenieros. Medellín (Colombia): Servigráficas.1978

La velocidad del enfriamiento del magma, es una variable fundamental para determinar la textura de la roca, lo cual incide en la capacidad de adherencia del material. Por ello se obtiene que a baja temperatura de enfriamiento, los granos o cristales son grandes, a velocidad alta son pequeños y si el enfriamiento es instantáneo se forman partículas porosas dando lugar a la piedra pómez originaria de un evento eruptivo.

FIGURA 2.2. Roca Ígnea



Fuente: Imágenes google

ROCAS SEDIMENTARIAS: Formadas por fragmentos de rocas ígneas, metamórficas u otras sedimentarias; son las que existen en mayor abundancia en la superficie terrestre. Su origen puede darse por dos procesos, ya sea por descomposición y desintegración de las rocas o por el proceso erosivo, transporte, depósito y consolidación. Los agentes que transportan y que depositan se los denota a continuación:

Tabla 2.6. Clasificación de rocas sedimentarias según el agente geológico externo.

AGENTE	TRANSPORTE	DEPÓSITO
Agua	Río Lago Mar	Depósitos de canto rodado, grava, arcilla, limo, etc. Depósitos lacustres de estratos horizontales. Depósitos marinos que dependen de vientos y marea.
Hielo	Glaciar	Mezcla de toda clase de materiales y tamaños por su sistema de formación.
Aire	Viento	Dunas o barbijanes (arena), Loess (Limo)

Fuente: PERAFFAN L., Antonio Geología para ingenieros. Medellín (Colombia): Servigráficas.1978

Estos agentes arrastran los materiales, los cuales dan forma y tamaño característico a los depósitos, dichos factores contribuyen en la calidad del material a usarse en las mezclas. De acuerdo al grado de consolidación y por el tamaño de las partículas se pueden clasificar de la siguiente manera:

Tabla 2.7. Clasificación de los depósitos de rocas sedimentarias.

DEPÓSITO INCONSOLIDADO	TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS mm	DEPÓSITO CONSOLIDADO DE ROCAS.
Cantos	256 – 64	Conglomerado muy grueso
Gravas	64 – 5	Conglomerado
Arenas	5 – 0.074	Arenisca
Limos	0.074 – 0.002	Limolitos
Arcillas	<0.002	Arcillotitas o argilitas

Fuente: NEVILLE, A.M. Tecnología del concreto tomo I y II. México: Instituto mexicano del cemento y del concreto. Primera edición.

FIGURA 2.3. Roca Sedimentaria



Fuente: Imágenes google

ROCAS METAMÓRFICAS: Rocas provenientes de rocas ígneas y sedimentarias, las cuales experimentan modificaciones en sólido a grandes presiones que sufren los estratos profundos, temperaturas elevadas que hay en el interior, y emanaciones de los gases de magma.

FIGURA 2.4. Roca Metamórfica



Fuente: Imágenes google

Agregados artificiales:

Son obtenidos a partir de productos y procesos industriales tales como arcillas expansivas, escorias de alto horno, clinker, limaduras de hierro y otros, estos agregados son de mayor o menor densidad que los agregados corrientes o naturales.

Propiedades físicas y mecánicas de los agregados

Las propiedades básicas que contemplan los agregados son:

Peso Volumétrico: Es el peso del agregado que se requiere para llenar un recipiente con volumen unitario especificado.

Resistencia a la abrasión: Es la capacidad de resistir impactos y fricción, esta resistencia depende en gran medida del tipo de roca y su grado de cementación y consolidación.

Propiedades térmicas: Los efectos térmicos en los agregados causan dilatación y fisuración (agrietamiento).

Peso específico: Es la relación de su peso respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua.

Absorción: Se determina con la finalidad de controlar el contenido neto de agua en el concreto, con lo cual es posible determinar los pesos correctos de cada mezcla.

Granulometría: Se refiere al tamaño de las partículas y al porcentaje o distribución de las mismas en una masa de agregado. Los parámetros que se obtienen a través de esta propiedad son el tamaño máximo, tamaño máximo nominal, modulo de finura, porcentaje de finos.

Textura: Propiedad que proviene indirectamente de la roca madre y es responsable de la adherencia del agregado y de la fluidez de las mezclas de hormigón.

Densidad: Depende directamente del origen del agregado. Las partículas del agregado están compuestas de minerales y espacios o poros que pueden estar vacíos, parcialmente saturados o llenos de agua según su permeabilidad interna, por ello es necesario hacer diferenciación entre los distintos tipos de densidad.

Densidad Absoluta: Es la relación entre el peso de la masa del agregado y el volumen que ocupan sus partículas sólidas.

Densidad nominal: Es la relación existente entre el peso de la masa del agregado y el volumen que ocupan las partículas del material incluidos los poros no saturables.

Densidad aparente: Está definida por la relación entre el peso y el volumen de las partículas de ese material incluidos todos los poros, saturables y no saturables.

Porosidad y absorción: La porosidad del agregado es una cualidad importante, directamente relacionada con la adherencia y resistencia a la compresión y flexión de las partículas, así como a su comportamiento frente a problemas de congelamiento, deshielo e intemperismo.

La porosidad está relacionada a la capacidad de absorción de agua u otro líquido que tienen los agregados, esta capacidad depende del número, tamaño y continuidad de los poros.

Tenacidad: Es la resistencia que ofrece el agregado al impacto, lo cual tiene mucho que ver con la granulometría ya que si son débiles al impacto se disgregan, por tanto afecta la calidad de la obra.

Dureza: Es la resistencia que ofrece el agregado a la acción del roce y al desgaste diario.

Sanidad de los agregados: La sanidad de los agregados se refiere a sus capacidades para soportar cambios excesivos de volumen por acción del intemperismo.

Agregado Fino

Constituye la mayor parte del porcentaje en peso de la masa total del hormigón.

La forma de las partículas deberá ser de preferencia cúbica o esférica, libre de partículas delgadas, planas o alargadas.

Debe eliminarse todo el material orgánico contenido puesto que afecta a las propiedades del hormigón.

En cuanto al modulo de finura, el cual es una característica primordial, es necesario considerar que no sea menor de 2,3 ni mayor de 3,1 para lograr una buena manejabilidad y resistencia a la compresión.

Agregado Grueso

Es uno de los componentes principales del hormigón, por ello es de suma importancia tomar en cuenta su calidad, para así garantizar los resultados en la estructura.

La forma de las partículas más pequeñas del agregado grueso debe ser cúbica y estar libre de partículas delgadas, planas o alargadas en todos los tamaños para poder garantizar la adherencia requerida.

El agregado debe ser duro, resistente, limpio y sin recubrimiento de materiales extraños o polvo, lo cual es necesario si existiesen lavarlos previamente.

2.2.3 El Agua de mezclado

El agua de mezclado es un ingrediente o componente muy importante en las mezclas de hormigón. El agua debe ser limpia y pura y estar libre de sales, álcalis u otros minerales que reaccionan en una forma desfavorable con el cemento. Por tanto no es recomendable el agua de mar para mezclas de hormigón.⁷

Además, es la cantidad de agua por volumen unitario de concreto que requiere el cemento. En una porción de pasta hidratada, el agua se encuentra en dos formas básicas: agua de hidratación (no evaporable) y agua evaporable.

Clasificación del agua de mezclado

Agua Evaporable

La porción de agua sobrante en la pasta, puede evaporarse a 0°C de humedad relativa de ambiente y a 100°C de temperatura. El gel de cemento ejerce atracción molecular sobre una parte del agua evaporable y la mantiene atraída.

Agua de Absorción

Es la capa que esta adherida fuertemente a las superficies del gel por fuerzas intermoleculares de atracción.

Agua Capilar

Es el agua que está ocupada en los poros de la pasta.

Agua Libre

El agua existente en la pasta y la cual no es evaporable, puede ser una medida de hidratación alcanzada por los gramos de cemento, originando un desplazamiento del agua del exterior al interior de éstos.

⁷ EVERARD Y TANNER., “Diseño de concreto armado”, Edición McGRAW-HILL, p. 4

Un término medio en porcentaje que necesita el cemento para su completa hidratación es un 23% de su peso, es decir:

$$\frac{\text{agua de hidratación}}{\text{cantidad de cemento en Kg}} = 0,23$$

Agua de Curado

El hormigón pierde agua por diversas situaciones, como altas temperaturas por exposición al sol o por calor en los alrededores, alta absorción donde se encuentra colocado el hormigón, fuertes vientos que incrementan la velocidad de evaporación.

Por tanto el hormigón necesita estar humedecido hasta que cumpla con la resistencia esperada, esta agua es adicional la misma que es requerida una vez endurecido, a fin de alcanzar los niveles de resistencia para los cuales fue diseñado.

El agua adicional debe tener un estricto control de calidad ya que el exceso del agua puede repercutir a que aumente la porosidad influenciando en la resistencia y sea más permeable.

2.2.4 Aditivos Hiperfluidificantes

Introducción

Son materiales orgánicos o inorgánicos que se añaden a la mezcla durante o luego de formada la pasta de cemento y que modifican en forma dirigida algunas características del proceso de hidratación, el endurecimiento e incluso la estructura interna del concreto.

En nuestro país, no es frecuente el empleo de aditivos por la creencia generalizada de que su alto costo no justifica su utilización en el concreto de manera rutinaria; pero si se hace un estudio detallado del incremento en el costo del m³ de concreto (incremento que

normalmente oscila entre el 0.5 al 5% dependiendo del producto en particular), y de la economía en mano de obra, horas de operación y mantenimiento del equipo, reducción de lazos de ejecución de las labores, mayor vida útil de las estructuras etc., se concluye que el costo extra es sólo aparente en la mayoría de los casos, en contraposición a la gran cantidad de beneficios que se obtienen.

Aditivos Hiperfluidificantes

Son reductores de agua-plastificantes especiales en que el efecto aniónico se ha multiplicado notablemente.

A nivel mundial han significado un avance notable en la Tecnología del Concreto pues han permitido el desarrollo de concretos de muy alta resistencia mecánica.

En la actualidad existen los llamados Hiperfluidificantes de tercera generación, que cada vez introducen mejoras adicionales en la modificación de las mezclas de concreto con reducciones de agua, que no se pensaba fueran posible de lograrse unos años atrás. Se aplican diluidos en el agua de mezcla dentro del proceso de dosificación y producción del concreto, pero también se pueden añadir a una mezcla normal en el sitio de obra un momento antes del vaciado, produciendo resultados impresionantes en cuanto a la modificación de la trabajabilidad.

Las mezclas en las que se desee emplear superplastificantes, deben tener un contenido de finos ligeramente superior al convencional ya que de otra manera se puede producir segregación si se exagera el vibrado.

Si se desea emplear al máximo sus características de reductores de agua, permiten descensos hasta del 20% a 30% trabajando con asentamiento del orden de 2" a 3", lo que ha permitido el desarrollo de concretos de muy alta resistencia (750 kg/cm^2) con relaciones Agua/Cemento tan bajas como 0.25 a 0.30, obviamente bajo optimizaciones de la calidad de los agregados y del cemento.

En general los aditivos reductores de agua – plastificantes permiten los siguientes efectos:

- ✓ Aumentan la fluidez de un hormigón determinado.
- ✓ Reduce el agua de amasado para alcanzar una consistencia dada.
- ✓ Mejoran la trabajabilidad con áridos desfavorables.
- ✓ Aumentan las resistencias.
- ✓ Mejoran la durabilidad.
- ✓ Reducen la retracción.

Aditivo Químico utilizado para las mezclas

Para nuestra investigación se utilizó el tipo de aditivo superplastificante/reductor de agua de alta actividad o también denominado hiperfluidificante.

Estos aditivos permiten la reducción de agua hasta un 40%, los cuales ofrecen consistencias líquidas, las cuales no pueden ser evaluadas con el cono de Abrams ya que resultarían obsoletos. Este tipo de aditivos se basa en éters policarboxílicos, que tienen efectos dispersivos por repulsión de cargas o por causas estéricas.

El aditivo utilizado en esta investigación fue el de la casa comercial Basf de Imperquik, su nombre comercial es **GLENIUM 3000NS**, sobre el cual se describe a continuación.

GLENIUM 3000NS⁸

Descripción

Es un aditivo reductor de agua de alto rango listo para usarse, pertenece a una nueva generación de aditivos patentados basados en la tecnología del policarboxilato. Es muy

⁸ FICHA TECNICA. **BASF IMPERQUIK**

utilizado y efectivo para niveles de manejabilidad, incluyendo en el concreto Autocompactante o RHEODYNAMIC. El concreto reodinámico está en la vanguardia de concretos autocompactantes.

Ventajas

- Cumple con la especificación ASTM C 494 para aditivos reductores de agua tipo A y aditivos reductor de agua de alto rango, Tipo F.
- Mezclas de concreto cohesivas sin segregación.
- Menor contenido de agua para un asentamiento determinado.
- Menor costo de producción debido a un vaciado más rápido, mejor acabado y menor costo de curado.
- Incrementa el desarrollo de resistencias a compresión y flexión durante todas sus etapas.

Velocidad de Fraguado

GLENIUM 3000NS, ha sido formulado para producir características de fraguado normales, en todo el rango de dosificación recomendada, a la vez para mantener una mejor manejabilidad. Los tiempos de fraguado del concreto dependen de la composición física y química de los ingredientes básicos del concreto, temperatura del hormigón y condiciones ambientales.

APLICACION

Dosificación

El rango de dosificación recomendado por el fabricante para el aditivo superplastificante, es de 260-780 ml/kg (4-12 oz fl/100 lb) de cemento para la mayoría

de las mezclas de concreto. La dosificación variará dependiendo de las condiciones de la obra y de los materiales de concreto como la microsílica.

Mezclado

A diferencia de los superplastificantes convencionales GLENIUM 3000NS puede adicionarse con el agua inicial de mezclado o agregarse después, hasta la adición del agua final a la mezcla.

RECOMENDACIONES

Corrosividad

No corrosivo, no contiene cloruros

GLENIUM 3000NS no iniciará o promoverá la corrosión del acero reforzado en el concreto, concreto pretensado o colocado en sistemas de pisos y techos de acero galvanizado.

Almacenamiento

Tiene vida útil de 9 meses como mínimo. Dependiendo de las condiciones de almacenamiento, la vida útil puede ser mayor.

USOS RECOMENDADOS

- Concreto donde el control de manejabilidad y el tiempo de fraguado son críticos.
- Concreto donde se requieran altas resistencias iniciales y finales y mayor durabilidad.
- Concreto donde se requiera reducción de agua de alto rango (12 a 40 %)

- Producción de mezclas de concreto autocompactante y concreto reodinámico.
- Aplicaciones en construcción subterránea Civil y Minera: shotcrete por vía húmeda o seca, grout, vaciados en masa en tubos, rellenos cementicios o pozos de sondeo.

2.2.5 Fibras de Acero

El uso de fibras de acero ha sido en el hormigón a través del desarrollo tecnológico, por la necesidad de incrementar en gran medida la resistencia del material, aportando mayor tenacidad y mejorando su comportamiento mecánico.

Para que la adición de las fibras tenga efecto, debe producirse adherencia entre la masa y la fibra, de manera que se genere una mezcla con distribución uniforme que convierta al hormigón en un material dúctil que reduzca su fisuración.

El módulo de elasticidad del acero es diez veces mayor que el del hormigón, su adherencia es bastante buena, su deformación a la rotura es elevada y son fáciles de mezclar.

Aunque estas fibras son susceptibles de oxidarse si se encuentran cerca de la superficie de la pieza, la experiencia nos indica que ello solo puede afectar a la estética pero no a la resistencia del elemento.

Los procesos de fabricación que se desarrollan para obtener las fibras de acero son el trefilado en frío, el corte de láminas o el raspado en caliente de bloques de acero.

Aporte de fibras

Al adicionar las fibras de acero al hormigón, le proporciona las siguientes características:

- Las fibras de acero cosen las fisuras del hormigón formando un “puente” entre los áridos gruesos, permitiendo una formación controlada de las fisuras, y llevando al hormigón a un comportamiento dúctil después de la fisuración inicial, evitando así la fractura frágil.

- Incremento de la resistencia a la abrasión debido a una reducción de la fisuración.
- Provee una excelente resistencia a la corrosión, ya que controla la abertura de las fisuras y por consiguiente el ingreso de agua.
- Mejora la resistencia a la tracción, flexión y corte, produciendo un aumento de la capacidad portante.
- Proporciona una capacidad adicional de resistencia, debido a la redistribución del momento plástico en caso de solicitaciones localizadas.
- Logra alta resistencia (capacidad de absorción de energía en el impacto) y resistencia al impacto para solicitaciones dinámicas.
- Provee un refuerzo uniforme en las tres direcciones, convirtiéndolo en un material isótropo y homogéneo, con igual rendimiento en todas las direcciones.
- Debido a las características isotrópicas y a la repartición uniforme de las fibras en toda la estructura, es ideal para cargas sin punto de aplicación definida.
- Permite ahorro de material ya que por ejemplo para pavimentos proyectados con hormigón reforzado con fibras, los espesores pueden disminuirse conservando las mismas propiedades.

Cabe recalcar que la inclusión de fibras en la masa del hormigón fresco, reduce la trabajabilidad del mismo, lo cual es un efecto que puede ser parcialmente reducido por la utilización de aditivos químicos.⁹

Los factores que tienen mayor influencia en la carga máxima son el porcentaje en volumen de fibras y el aspecto (esbeltez) de las mismas.

La incorporación de fibras no afecta de manera significativa a la resistencia a la compresión.

Normalmente las fibras tienen diámetros equivalentes de 0,15 a 2 mm y longitudes de 7 a 75 mm; algunas fibras se juntan para formar manojos, usando goma soluble al agua para facilitar el manejo y mezclado.

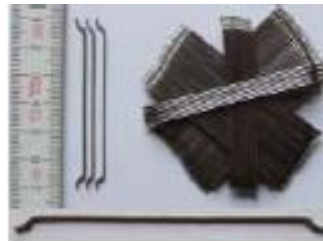
⁹ “Hormigón con la incorporación de fibras” de D. Fernando Rodríguez López y D. Diego Prado Pérez-Seoane, publicado en la Revista de Obras Públicas, o la tesina de D. Sergio Saludes Requena titulada “Ensayo de Doble Punzonamiento aplicado al Hormigón Reforzado con Fibras”.

A continuación se muestran las propiedades físicas de seis tipos de fibras de acero, de las 28 disponibles comercialmente.

FIGURA 2.5. Propiedades físicas de seis fibras de acero disponibles.



a) $l_f = 60 \text{ mm}$, $d_f = 0.75 \text{ mm}$



b) $l_f = 60 \text{ mm}$, $d_f = 0.9 \text{ mm}$



c) $l_f = 50 \text{ mm}$, $d_f = 1.05 \text{ mm}$



d) $l_f = 50 \text{ mm}$, $d_f = 1 \text{ mm}$



e) $l_f = 60 \text{ mm}$, $d_f = 1 \text{ mm}$



f) $l_f = 50 \text{ mm}$, $d_f = 1 \text{ mm}$

Fuente: RODRÍGUEZ L., F.; PRADO P-S., D.; (1984). Hormigón con la incorporación de fibras. Revista de Obras Públicas, Octubre, pp779-796.

a), b), c).- fibras rectas, de superficie plana, con ganchos extremos; a), b).- se encuentran pegadas; c).-se encuentran separadas; e), f).- fibras corrugadas, de superficie plana y separadas, las fibras tipo e).- presentan palas en los extremos, las fibras tipo f) presentan ganchos en los extremos.

2.3 Propiedades Físicas y Mecánicas del hormigón Fresco

Es considerado como hormigón fresco, desde el momento en que inicia el amasado hasta que culmina la mezcla de todos sus componentes y su compactación, hasta la colocación en el sitio o molde de la obra hasta el fraguado de la pasta.

A continuación se detallan las propiedades físicas y mecánicas de mayor importancia:

- **Docilidad**

Es la facilidad que tiene un hormigón para ser amasado, manipulado y puesto en obra, con los medios de compactación que se disponga.

Los factores que influyen en la docilidad son:

Trabajabilidad, la cual dependerá de las dimensiones de los elementos, de las secciones armadas, los medios que se utilicen para la puesta en obra.

Se determinará una mayor docilidad cuando se incremente el agua, lo cual repercute en la disminución de la resistencia del mismo.

Existirá una mayor docilidad si adicionamos más finos, áridos rodados, mayor cemento, fluidificantes o aditamentos.

- **Consistencia**

Es denominada como consistencia a la mayor o menor facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse o adaptarse a una forma específica ya sea molde o planicie.

La consistencia depende de factores tales como el agua de amasado, el tamaño máximo de árido, granulometría, forma de los áridos.

Los tipos de consistencia son:

- Seca: utilizando vibrado con mayor intensidad.
- Plástica: Utilizando vibrado normal.

- Blanda: Apisonando
- Fluida: Con Barra

A continuación se indica la categorización de la consistencia en función del asentamiento de la mezcla y su tolerancia.

Tabla 2.8. Consistencia del hormigón en función del asentamiento y su tolerancia.

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO (cm)	TOLERANCIA (cm)
Seca	0 – 2	0
Plástica	3 – 5	±1
Blanda	6 – 9	±1
Fluida	10 – 15	±1

Fuente: Propiedades del Hormigón fresco, España –Materiales de Construcción.

- **Homogeneidad y Uniformidad.**

Homogeneidad: Es la característica que tiene el hormigón para que sus componentes se distribuyan regularmente en la masa, lo cual debe producirse en una sola amasada.

Uniformidad: Es la cualidad que tiene el hormigón para que sus componentes se distribuyan uniformemente en la masa, luego de varias amasadas del mismo.

La propiedad de uniformidad dependerá de un correcto amasado, su buen transporte, correcta puesta en obra.

La pérdida de homogeneidad es por tres causas, tales como: irregularidad en el amasado, exceso de agua, cantidad y tamaño máximo de los agregados gruesos.

La pérdida de homogeneidad con estos parámetros mencionados anteriormente, provoca segregación o separación de los áridos gruesos y finos, y la decantación en la que los áridos gruesos van al fondo y los áridos finos se quedan arriba en la superficie.

- **Trabajabilidad.**

Es la factibilidad de colocar y terminar perfectamente un hormigón fresco en un determinado elemento estructural en una posición definida y con los medios disponibles en obra, alcanzando la máxima compacidad.

La determinación del asentamiento se realiza mediante el cono de Abrams lo cual indica el descenso de la masa de hormigón en centímetros lo que dependerá de la consistencia del mismo.

Tabla 2.9. Trabajabilidad del hormigón.

TRABAJABILIDAD DEL HORMIGON EN FUNCION DEL ASENTAMIENTO		
ASENTAMIENTO		DETERMINACION
pulg.	cm	
2	5	Poco Trabajable
3 - 5	7,5 - 12,5	Trabajable
> 6	15	Muy Trabajable

Fuente: Jiménez Montoya - Morán, Hormigón Armado, pág.75

- **Compacidad.**

Es la relación entre el volumen real de los componentes del hormigón y el volumen aparente de hormigón, no se toma en cuenta el aire ocluido.

- **Cohesión.**

Es la aptitud del hormigón fresco por la cual la mezcla, tanto en estado de movimiento como en reposo en moldes y encofrados, se mantiene sin pérdida de homogeneidad.

- **Segregación.**

Es la separación de los componentes del hormigón una vea amasado, provocando que la mezcla fresca de hormigón, presente una distribución no uniforme de las partículas.

Los problemas de segregación en el hormigón se presentan con los trabajos de colocación y compactación, con resultados de porosidades en las estructuras.

Segregación Interna: Las partículas grandes tienden a separarse por asentamiento o descohesión.

Segregación Externa: Las fuerzas exteriores que actúan sobre el hormigón fresco superan a las fuerzas internas de cohesión.

2.4 Propiedades Físicas y Mecánicas del hormigón Endurecido

Una vez que se ha vertido el hormigón y pasa del estado fresco a endurecido, pierde gradualmente su humedad y adquiere dureza. A medida que el hormigón experimenta este proceso del endurecimiento progresivo en función del tiempo, se transforma de material plástico a sólido, mediante este proceso físico – químico complejo de larga duración.

Propiedades Físicas del hormigón Endurecido

- **Densidad.**

Está definido como la relación entre el peso por unidad de volumen.

Dependerá de la densidad real y de la proporción de cada uno de los diferentes materiales constitutivos del hormigón.

La densidad normalmente experimenta ligeras variaciones en función del tiempo, las cuales son producidas por la variación de la evaporación del agua de amasado lo cual puede significar una variación de un 7% de su densidad inicial.

Los hormigones livianos son obtenidos por la incorporación de aire ya sea utilizando áridos livianos o incorporando directamente en la masa. Su densidad puede alcanzar

valores bajos tales como 0.5 Kg/dm^3 los cuales son utilizados para aislación térmica y aislación acústica.

Los hormigones pesados son obtenidos mediante el uso de áridos mineralizados los cuales tienen una mayor densidad que los áridos normales. Su densidad puede alcanzar valores hasta 5.0 Kg/dm^3 , son utilizados para aislamiento contra partículas radiactivas.

- **Permeabilidad.**

Es la capacidad de un material de ser atravesado por líquidos o gases (fluidos).

El hormigón es un material permeable, es decir, al estar sometido a presión de agua exterior se produce escurrimiento a través de su masa.

Las variables que pueden ser proyectadas para lograr un mayor grado de impermeabilidad son las siguientes.

- La variación de la relación agua/cemento utilizando la más baja posible tomando en cuenta la obtención favorable en cuanto a trabajabilidad adecuada para uso en obra.
- Utilizando la dosis más baja de cemento posible, sin dejar de un lado la resistencia requerida y especificaciones que dependerán del uso o el proyecto.
- Utilizar una granulometría de áridos finos tanto arenas como cemento sea adecuada lo cual debe estar correctamente gradado.

Cabe recalcar que la permeabilidad en los hormigones de alta resistencia es muy baja ya que las relaciones agua/cemento a utilizarse por cuestiones de resistencia son muy bajas.

- **Durabilidad.**

Es la capacidad que presenta el hormigón con el paso del tiempo sin perder sus propiedades, este comportamiento está fundamentado en la oposición a la acción agresiva hacia el hormigón ya sea ambiental, mecánica, física y química.

El hormigón está expuesto a agentes externos e internos durante toda su vida útil los cuales afectan su durabilidad sino se tiene en cuenta los mismos.

- **Variación de volumen.**

El hormigón experimenta variaciones de volumen, dilataciones o contracciones, durante toda su vida útil por causas físico – químicas.

La magnitud de estas variaciones a las cuales está sometido el hormigón están englobadas en las condiciones ambientales existentes de humedad y temperatura y además por los componentes presentes en la atmósfera.

La variación de volumen se origina por las condiciones de humedad a lo que se le denomina retracción hidráulica, y las originadas por causa de la temperatura retracción térmica. Existen también las originadas por composición atmosférica, la más frecuente es la producida por anhídrido carbónico y se denomina carbonatación.

- *Retracción hidráulica*

Los parámetros que determinan la retracción hidráulica son:

- ✓ Composición química del cemento: Influirá en la variación del volumen ya que es derivada del proceso de fraguado. Un alto contenido de C_3A favorece una rápida y alta contracción.
- ✓ Finura del cemento: Una mayor finura del cemento favorece la propiedad particular de su fraguado.
- ✓ Dosis de cemento: Existe una relación casi directa entre las dosis de cemento y la retracción hidráulica por estas causas.
- ✓ Dosis de agua: Un mayor contenido de agua en el interior del hormigón conducirá a una mayor cantidad de fisuras y poros saturados, desde donde se origina la tensión superficial.
- ✓ Porosidad de los áridos: La retracción tiene condicionamiento de la finura del árido, siendo mayor cuando este aumenta, puesto que ello implica una mayor cantidad de discontinuidades en la masa del árido.
- ✓ Humedad: Condicionante en la velocidad de evaporación del agua interior del hormigón.

- Retracción térmica

El hormigón puede experimentar variaciones causadas por temperatura, las cuales pueden provenir tanto externamente de la temperatura ambiente como internamente de la generada durante el fraguado y endurecimiento de la pasta de cemento.

Los principales factores condicionantes en la magnitud de la retracción térmica son:

✓ Variaciones derivadas de causas externas tales como:

Magnitud y velocidad de las variaciones de temperatura ambiental

✓ Variaciones por causas externas tales como:

- características del cemento,
- contenido de C_3A ,
- finura de molienda
- temperatura en el momento de su incorporación en el hormigón

Para atenuar los efectos térmicos hacia el hormigón la solución más eficaz es el aumento de aislación térmica en los parámetros que limitan con el exterior.

Una solución optima para evitar la retracción térmica es la refrigeración del hormigón colocado lo cual consiste en la circulación de agua fría a través de serpentines embebidos en la masa del hormigón.

Propiedades Mecánicas del hormigón Endurecido

Después del vertido del hormigón, el mismo pasa de un estado fresco a endurecido en el transcurso del tiempo, mediante el cual pierde paulatinamente humedad y va adquiriendo dureza. A medida que el hormigón sufre este proceso de endurecimiento, se transforma de material plástico a sólido, mediante un proceso físico – químico complejo de larga duración.

Las propiedades básicas de mayor importancia para el hormigón son:

- **Resistencia mecánica a la Compresión y deformaciones.**

La característica particular más importante de cualquier elemento estructural es su resistencia real, la cual debe ser lo suficientemente elevada para resistir, con un margen adecuado de reserva, todas las cargas previsibles que puedan actuar sobre aquél durante la vida de la estructura.¹⁰

La resistencia a la compresión del hormigón es la medida más común de desempeño para el diseño de edificaciones u otras estructuras.

La resistencia a la compresión se mide tomando en cuenta probetas cilíndricas ensayadas a la rotura por compresión a los 28 días de edad y de acuerdo a las dimensiones especificadas en las normas locales como la NTE INEN 1573:2010 y en las que se especifica que deben ser ensayados en condición húmeda, y además durante su etapa de fraguado, debe encontrarse sumergido en agua a una temperatura adecuada o en un ambiente húmedo.

Para que el espécimen tenga una buena resistencia dependerá de varios factores tales como:

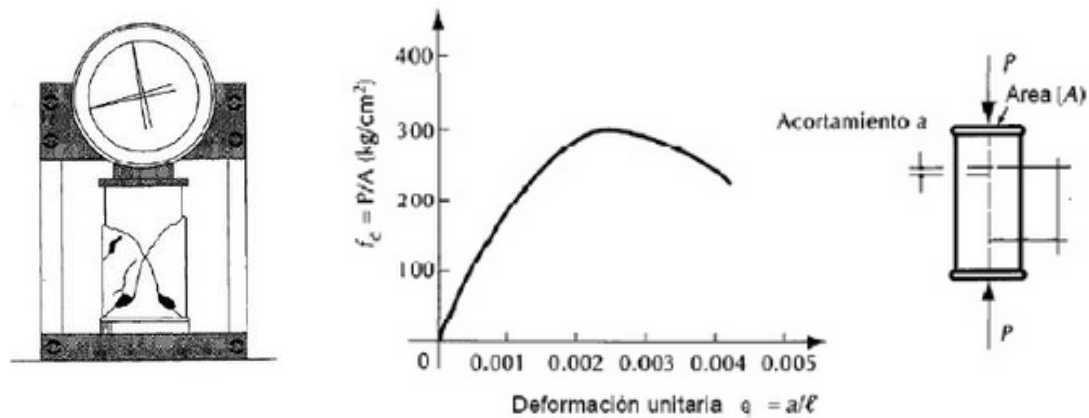
- La resistencia de los agregados.
- La adherencia que se produce entre los agregados y la pasta de cemento endurecido.
- La resistencia de la pasta de cemento endurecido.

Para estimar la resistencia del hormigón en situ, la norma ASTM C31 formula procedimientos para las pruebas de curado de campo. Las probetas cilíndricas se someten a ensayo de acuerdo a ASTM C39, “Método estándar de prueba de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto”¹¹

¹⁰ Nilson, 2001, página 15.

¹¹ Instituto Mexicano del cemento y del concreto “Prueba de resistencia a la compresión del concreto”, página 2.

FIGURA 2.6 Falla a compresión de un cilindro y curva esfuerzo - deformación



Fuente: Gonzales y Robles 2005

- **Resistencia a la Tracción**

La resistencia a la tracción normalmente no es muy tomada en cuenta en el análisis del hormigón ya que no se requiere que el hormigón resiste fuerzas directas de tracción, sin embargo esta resistencia es importante con respecto al agrietamiento, debido a la limitación de las contracciones.

La resistencia del concreto simple a la tracción es pequeña si se le compara con la resistencia a la compresión y por esta razón las tracciones en el concreto se desprecian en el cálculo. No obstante es necesario tomar en cuenta en lo que respecta a los esfuerzos principales o esfuerzos de tensión diagonal, los cuales originan la falla por tensión diagonal.¹²

Para determinar cuantitativamente la resistencia a la tracción se utilizan tres métodos conocidos en los medios tales como:

- Flexotracción
- Hundimiento o compresión diametral

¹² Diseño de concreto armado, EVERARD Y TANNER, página 16

- Ensayo directo de tracción axial

- **Módulo de Elasticidad**

El módulo de elasticidad en general es la medida de la rigidez del hormigón sometido a cargas de compresión.

El modulo de elasticidad de un material es la relación entre el esfuerzo al que está sometido el material y la deformación unitaria respectiva.

En el hormigón, el modulo de elasticidad representa la rigidez que tiene el elemento ante una carga impuesta bajo la cual está siendo deformado. Para su determinación tiene como principio la aplicación de cargas estática y de la correspondiente deformación unitaria producida.

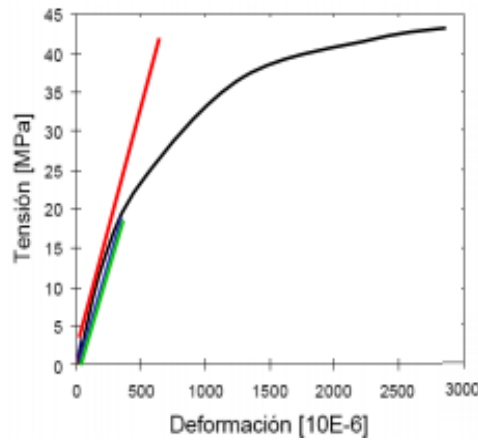
Uno de los valores más importantes en el diseño del hormigón reforzado es el modulo de elasticidad, puesto que éste influye en las deflexiones, derivas y rigidez propia de la estructura.

El modulo de elasticidad estático del hormigón, está condicionado a aspectos secuenciales, en un ensayo a compresión:¹³

- a) El módulo tangente está dado por la pendiente de la tangente a la curva tensión - deformación, en cualquier punto de la curva.
- b) El módulo secante está dado por la pendiente de una línea trazada en el origen de la curva tensión – deformación y el valor correspondiente al 40% de la carga de rotura
- c) El módulo cuerda está dado por la pendiente de una línea trazada entre el punto que representa una deformación de 50 m/m en la curva tensión – deformación y el valor correspondiente al 40% de la carga de rotura

¹³ Universidad Tecnológica Nacional, Ing. Fernanda Carrasco, “Propiedades del Hormigón Endurecido”.

FIGURA 2.7. Tensión vs Deformación del hormigón



Se considera que el módulo de elasticidad crece aproximadamente con la raíz cuadrada de la resistencia a compresión:

$$E = 21000 \times (S)^{1/2} \text{ donde } S \text{ es la resistencia en kg/cm}^2$$

$$E = 200000 \text{ kg/cm}^2 \text{ para } S = 100 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 360000 \text{ kg/cm}^2 \text{ para } S = 300 \text{ kg/cm}^2$$

Fuente: Nilson, 2001

El modulo de elasticidad es la pendiente de la línea obtenida del diagrama esfuerzo – deformación, lo cual es obtenido mediante la siguiente relación:

$$E = \tan \alpha = \frac{\partial (\text{Esfuerzo})}{\varepsilon (\text{Deformación})}$$

El ACI recomienda adoptar el modulo de elasticidad, en función de la resistencia a la compresión f'_c , mediante la siguiente expresión:

$$E_c = 1000 * f'_c (Kg/cm^2)$$

En el código ACI 318 se especifica una nueva variante para determinar el módulo de elasticidad que es W_c o su densidad, la expresión a utilizarse es:

$$E_c = 0.043 * W_c^{1.5} * \sqrt{f'_c}$$

En donde,

W_c = Densidad del hormigón (Kg/cm^3)

f'_c = Esfuerzo a la compresión (MPa)

E_c = Módulo de Elasticidad (MPa)

2.5 Propiedades del Hormigón empleando fibras de Acero

Las fibras de acero son elementos de corta longitud, de pequeña sección, con el fin de conferirle ciertas propiedades específicas, con las características necesarias para dispersarse aleatoriamente en la mezcla de hormigón en estado fresco.

La efectividad del refuerzo matriz y fibras exige a las fibras las siguientes propiedades:

- Una resistencia a la tracción significativamente mayor que la del hormigón
- Una adherencia con la matriz del mismo orden o mayor que la resistencia a tracción de la matriz.
- Un módulo de elasticidad significativamente mayor que el del hormigón.

Las fibras mejoran determinadas propiedades, como es el caso del control de la fisuración por retracción, y el incremento de resistencia al fuego, abrasión e impacto.

Elaboración del Hormigón con fibras de acero

Las fibras de acero actúan en la masa de hormigón como elementos rígidos, su particularidad es tener una gran área superficial y geometría muy esbelta, mejorando algunas propiedades en estado endurecido y exigiendo modificaciones en los procesos tradicionales de dosificación, fabricación, transporte, vertido, compactación y acabado.

A continuación se detallan las propiedades del hormigón empleando fibras de acero:

1. Consistencia

Mediante ensayos experimentales, se ha constatado que la consistencia del hormigón reforzado con fibras de acero, resulta restringida con la adición de fibras en función del volumen de fibras adicionado y su esbeltez.

La presencia de fibras delimita la fluidez de la mezcla, es importante evaluar la consistencia de los hormigones reforzados con fibras de acero con métodos dinámicos, como el cono Invertido, el Consistómetro y el Manejabilímetro.

2. Docilidad

Generalmente la puesta en obra del Hormigón reforzado con fibras de acero (HRFA), que es menos dócil que el hormigón tradicional y demanda mayor energía en la compactación. Por ello es necesaria la utilización de vibrador y no se debe emplear barra para apisonarlo.

Son recomendables los vibradores externos, para evitar la acumulación de las fibras en un solo punto de la masa del hormigón, ya que pueden generarse heterogeneidades de la mezcla, lo cual no es conveniente para resultados óptimos de resistencias y desempeños necesarios del mismo.

3. Tenacidad

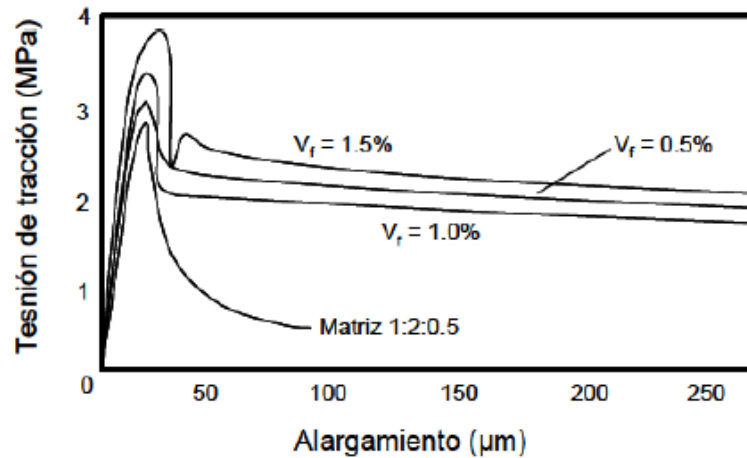
Esta propiedad tiende a aumentar de una manera significativamente visible, en cuanto se adiciona las fibras de acero al hormigón convencional, ya que la energía absorbida para producir la separación completa de la pieza aumenta hasta el doble, lo cual se determina mediante la representación del área de la curva de esfuerzo – deformación; también es posible ser medido mediante ensayos de impacto.

El índice de tenacidad depende principalmente del contenido de fibras, del tipo y de la esbeltez de éstas y de manera reducida que la matriz sea mortero u hormigón.

4. Resistencia a la Tracción

Es notable visualizar que en el diagrama esfuerzo a tracción vs. deformación a tracción directa, las fibras rigidizan sensiblemente la repuesta en la fase de pre-fisura respecto de un hormigón convencional, y de forma acentuada, aportan una capacidad de resistencia residual post-fisura, debido al efecto de cocido entre los dos extremos de la fisura.

FIGURA 2.8. Curvas de tracción-alargamiento de morteros en función de la tracción directa.



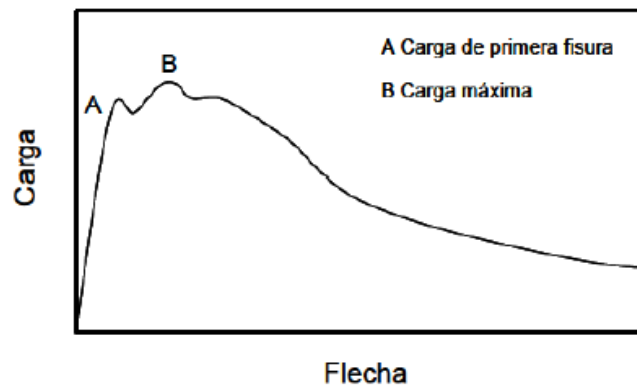
Fuente: ACI 544.1R-96, Comparación hormigón convencional o matriz con HRFA, 2009

La resistencia a tracción post-fisura afecta a muchas otras propiedades mecánicas como la adherencia de armaduras, la resistencia a cortante, la fatiga, entre otras.

5. Resistencia a la flexión

Existe un incremento considerable de la resistencia a Flexotracción al adicionar fibras de acero al hormigón, en comparación con el de resistencia a compresión y tracción. Debiéndose al comportamiento dúctil del HRFA en la zona fisurada por tracción lo que desarrolla resistencias residuales.

FIGURA 2.9. Curva Carga – flecha a Flexotracción en Hormigones empleando fibras de Acero.



Fuente: Universidad Politécnica Catalunya, "Aplicación de Fibras Estructurales a Pilotes tipo CPI8", pág. 22

La resistencia a la rotura depende principalmente del volumen de fibras y la esbeltez de éstas, con lo cual se lograría un incremento de hasta el 100%, respecto de la resistencia de la mezcla u hormigón sin adicionar fibras, si se utilizan fibras con extremos conformados.

Cabe recalcar, que es de suma importancia la verificación de esbeltez y porcentaje a ser utilizado en la mezcla de hormigón, ya que con contenidos de fibras bajos y fibras de baja esbeltez, no es de esperar incrementos significativos de resistencia.

6. Resistencia al Impacto

Una de las principales propiedades características del Hormigón con fibras de Acero es su resistencia a los impactos por absorción de energía, siendo en este caso su resistencia de 3 a 10 veces la resistencia del hormigón en masa (ACI 544.4R-88, 2009). Además presenta una menor tenacidad a la desfragmentación y el desprendimiento.

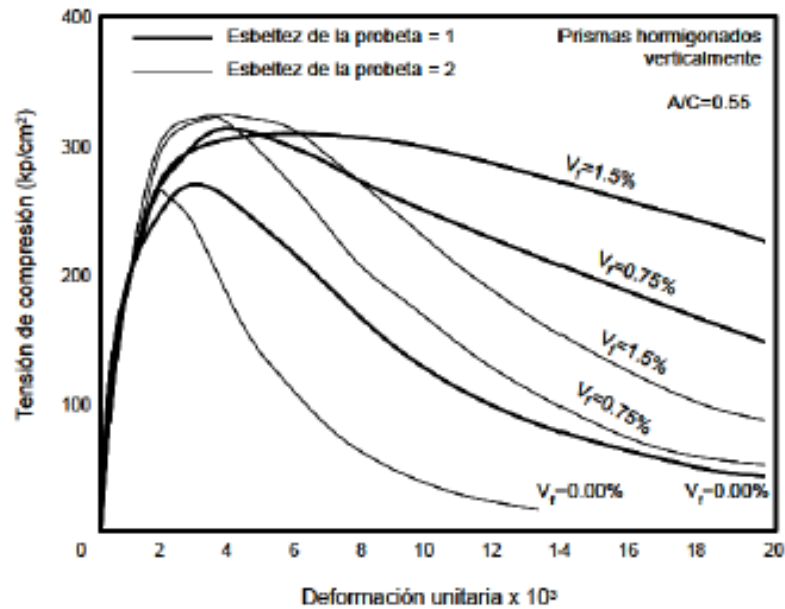
7. Resistencia a la Compresión

La adición de fibras al hormigón no conlleva a un incremento significativo de la resistencia del hormigón a compresión. Suelen presentarse ligeros incrementos o decrementos de la misma.

En Hormigones con la inclusión de fibras de esbeltez 45, 65, 80, y volúmenes de fibras de 0.5%, 1.0% y 1.5% encontraron incrementos de la resistencia a compresión entre 4 – 19% respecto de hormigones idénticos sin fibras.

Antes de los 28 días se encuentran los hormigones jóvenes, en los que la capacidad de mantener la carga máxima a compresión, se incrementa significativamente con la adición de fibras, a medida que madura el hormigón este incremento se reduce y la capacidad de absorción de energía y la ductilidad se concentran en la región post-fisura.

FIGURA 2.10. Diagrama de respuesta a compresión simple de HRFA con diferente Volumen de fibras (V_f), y con diferente esbeltez de probeta.



Fuente: ACI 544.3R-08, 2008

8. Cortante y Torsión

Los ensayos experimentales de vigas de HRFA armadas han servido para concluir que las fibras propician una fisuración más distribuida y además incrementan la capacidad de carga última a cortante.

En la combinación de sistemas de refuerzo fibras y estribos se producen resultados notables en cuanto a ductilidad del elemento pero con resultados no significativos en cortante del $\approx 15\%$ para hormigones ordinarios y de alta resistencia).

9. Módulo de Deformación

En comparación de los HRFA Y los hormigones tradicionales con contenidos de fibras menores del 1% en volumen, no se presentan modificaciones, generalmente se adopta el modulo de deformación del hormigón convencional o se realiza una estimación de su valor mediante el uso de formulaciones que relacionan la resistencia a compresión con el modulo de deformación.

Aplicando la teoría de los materiales multifase y tratándose de fibras cortas aleatorias distribuidas en la masa, se dice que:

$$E_{cf} = (1 - n_1 n_0 V_f) E_c + n_1 n_0 V_f E_f$$

Donde,

- E_{cf} : módulo de deformación del HRFA.
- E_c : módulo de deformación del hormigón sin fibras.
- E_f : módulo de deformación de las fibras
- V_f : volumen de fibras.
- n_1 : factor de eficiencia de las fibras en función de su longitud.
- n_0 : factor de orientación de las fibras

10. Punzonamiento

La inclusión de fibras en un porcentaje mayor al 0.5% experimentan roturas por punzonamiento más graduales y dúctiles, con un incremento de fisuración apreciable previo al agotamiento y la resistencia después de la fisuración, en función del contenido de fibras, la esbeltez y la capacidad de adherencia de estas.

La resistencia a rotura por punzonamiento se incrementa en hasta un 42% (ACI 544.4R-88, 2009).

11. Adherencia Fibra de Acero-Matriz

Esta adherencia manifiesta el comportamiento de la fibra después de la fisuración en conjunto con el hormigón, haciendo más dúctil el fenómeno de agotamiento del material compuesto por fibras de acero y hormigón.

Este fenómeno de adherencia, aumenta en función de la esbeltez de la fibra. La resistencia de arrancamiento de tres fibras con extremos conformados de esbeltez igual a 100, supera a una sola fibra de esbeltez igual a 75 del mismo volumen del conjunto de las tres fibras anteriores.

12. Adherencia Fibras de Acero – Armaduras¹⁴

Las fibras confinan el hormigón aumentando la resistencia al inicio y en la propagación de las fisuras principales y de las microfisuras internas de adherencia.

Con ello se mantiene la integridad del hormigón, en un entorno próximo de las armaduras, después de haber alcanzado la tensión máxima de adherencia.

De esta manera, se experimentan, incrementos en la capacidad adherente de las armaduras pasivas y una menor degradación de la capacidad de respuesta, tras alcanzar la tensión máxima, lo que se convierte en cierta energía residual, en mayores deslizamientos y en mayor absorción de energía, por tanto será mas dúctil y con menor tendencia al agotamiento del hormigón.

13. Durabilidad del Hormigón reforzado con Fibras de Acero

Los comportamientos mecánicos que se generan al adicionar fibras de acero son característicos, al presentarse mayor número de fisuras con menores valores de aberturas en las mismas, lo cual es un factor indudable de importancia para una mayor durabilidad.

¹⁴ Tesis: Hormigones con Fibras de Acero, Patricia Cristina Mármol S. España-Madrid 2010.

Uno de los aspectos más preocupantes es la corrosión. En hormigones sin fisuras se determina que la corrosión de fibras se limita a la superficie del hormigón; una vez que la superficie esta corroída, el efecto de la corrosión no se propaga más de 12 mm a partir de la superficie. Las fibras de acero muestran buena resistencia a la corrosión en elementos no fisurados, aun cuando los elementos se encuentren expuestos a agua de mar.¹⁵

Los cambios microquímicos producidos por el agua de mar no tienen ningún efecto negativo en la durabilidad y comportamiento del hormigón bajo cargas sostenidas en ambientes marinos.

Las fibras con recubrimiento de zinc (galvanizadas) presentan efectos que favorecen a la corrosión, tanto del punto de vista estético y mecánico; la resistencia a flexotracción en elementos fisurados sometidos a ambientes marinos se incrementa lo cual es atribuido al autocurado del hormigón y a la leve corrosión de las fibras que hace que la superficie sea menos limpia y más rugosa, haciendo el deslizamiento más fácil y generando ese incremento adicional.

2.6 Comportamiento elástico e inelástico

El comportamiento elástico e inelástico del hormigón se fundamenta estableciendo la relación que tienen tensiones y deformaciones a las cuales está sometido el elemento, para lo cual es necesario conocer las propiedades del hormigón, de esta manera debe ser tomado en cuenta el aspecto estructural de una manera puntual, cuando las deformaciones son determinantes en el cálculo del elemento.

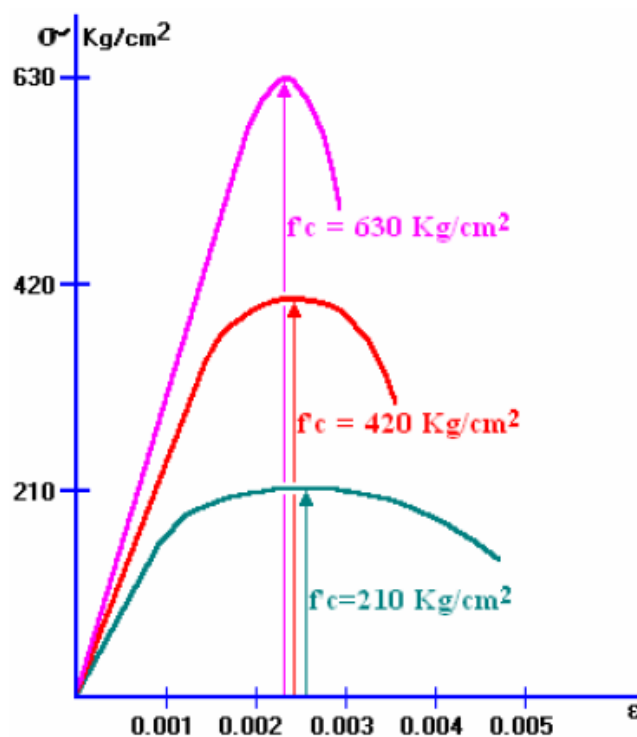
Se debe recordar que el hormigón no es un material elástico, puesto que luego de estar sometido a esfuerzos externos una vez retirada la carga, debería regresar a su forma y tamaño normal y no lo logra.

¹⁵ CODIGO AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ACI 544.1R-96, 2009.

El hormigón es un material inelástico, por tanto tiene que deformarse al ser sometido a sollicitaciones de compresión o tracción.

El hormigón tendrá diferentes diagramas de esfuerzo – deformación de las muestras o probetas cilíndricas ensayadas a compresión, los que dependerán de su resistencia a la rotura que tendrá el material.

FIGURA 2.11. Curva esfuerzo-deformación, hormigones de diferentes resistencias.

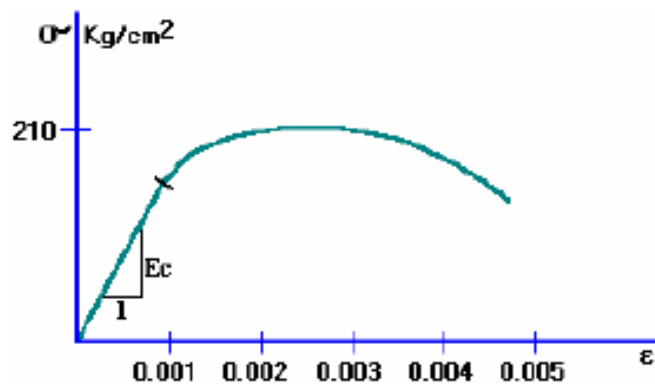


Fuente: Romo Marcelo “Tesis de hormigón armado”, Escuela Politécnica del Ejército-Ecuador, pág.17

Cuando las sollicitaciones de compresión son incrementales menores al 70% de la carga de rotura, en cualquier tipo de hormigones se presenta un primer rango lineal y elástico, seguida por un segundo rango que tiene un comportamiento inelástico o no lineal que son producidas cuando las cargas son altas.

Todo diagrama de esfuerzo-deformación del hormigón presenta la misma configuración en la cual existe una parte lineal y otra curva, la pendiente de la curva representa el Módulo de Elasticidad del material simbolizado con “Ec”.

FIGURA 2.12. Representación del Modulo de Elasticidad del hormigón.



Fuente: Romo Marcelo. “Tesis de hormigón armado”, Escuela Politécnica del Ejercito-Ecuador, p.17

De acuerdo al ACI (American Concrete Institute) ACI318S-09 8.5.1, propone la siguiente expresión obtenida experimentalmente aproximada para el cálculo de él Modulo de Elasticidad la cual también es utilizada por el código Ecuatoriano de la construcción y es en función de la resistencia a la compresión del mismo.

$$E_c = 15000\sqrt{f'_c} \quad (a) \text{ en } (\text{kg}/\text{cm}^2).$$

La expresión (a) es utilizada para hormigones con agregados de peso específico normal (peso específico del hormigón $\approx 2300 \text{ Kg}/\text{m}^3$), y resistencias normales medias.

Para hormigones con peso específico W_c entre 1440 y $2489 \text{ Kg}/\text{m}^3$, E_c puede calcularse con la siguiente expresión según ACI 8.5.1:

$$E_c = w_c^{1.5} * 0.137\sqrt{f'_c} \quad (b) \text{ en } (\text{kg}/\text{cm}^2).$$

Dentro del comportamiento elástico e inelástico del hormigón debe introducirse el concepto de ductilidad, la cual interviene en la capacidad para deformarse linealmente al estar expuesto a esfuerzos así sean mínimos, nulos o inclusive exista una disminución de carga.

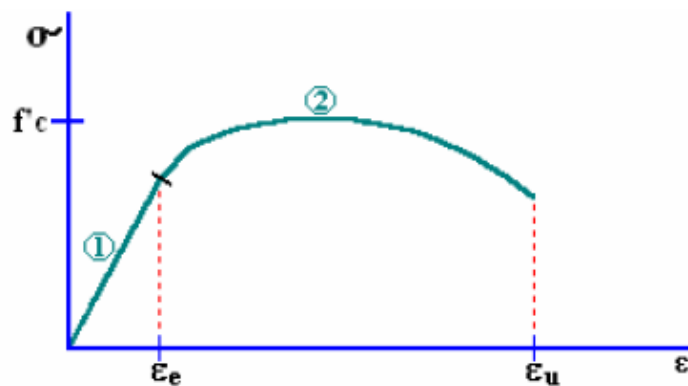
Para determinar el Índice de ductilidad de un elemento, debe relacionarse la deformación unitaria de rotura con la deformación máxima, como se indica a continuación.

$$D_d = \frac{\epsilon_u}{\epsilon_e} \text{ , Donde: } D_d = \text{Índice de ductilidad por deformación}$$

$$\epsilon_u = \text{Deformación unitaria de rotura}$$

$$\epsilon_e = \text{Deformación unitaria elástica máxima}$$

FIGURA 2.13 Deformaciones unitarias máximas en el rango elástico e inelástico.



Fuente: Romo Marcelo. “Tesis de hormigón armado”, Escuela Politécnica del Ejército-Ecuador, p.17

El índice de ductilidad por deformación es un referente de la capacidad del hormigón para deformarse por encima de su límite de fluencia.

A continuación se presenta los valores aproximados del índice de ductilidad en función de la resistencia a la compresión:

Tabla 2.10. Índices de ductilidad por deformación.

Resistencia a la Compresión (Kg/cm ²)	Índice de ductilidad por Deformación
210	4,5 – 6,0
280	3,5 – 4,5
350	3,0 – 3,5
420	2,5 – 3,0
630	2,0 – 2,5
840	1,5 - 2,0

Fuente: Romo. M., “Temas de hormigón armado”, Escuela Politécnica del Ejército-Ecuador, pág. 20, Quito, (2008)

Comportamiento inelástico¹⁶

El comportamiento inelástico del hormigón o también denominado como plasticidad está presente cuando una determinada carga permanece aplicada un largo tiempo, produciéndose una deformación a la que se le denomina fluencia del hormigón.

Este parámetro de deformación conocido como fluencia, es necesario para el análisis estructural, en cuanto al cálculo de deformaciones en elementos de hormigón armado, o además para el cálculo de tensiones a partir de la medición de deformaciones.

La fluencia se estima que es generada por dos tipos de fenómenos los cuales son:

- Fluencia Básica: Derivado de la acomodación de la estructura cristalina de la pasta de cemento.
- Retracción hidráulica adicional: Proviene de la migración interna de la humedad.

Los factores que influyen en la fluencia del hormigón son los siguientes:

- Tipo y dosis de cemento
- Humedad del ambiente
- La magnitud de la tensión aplicada
- La edad del hormigón e el momento de su aplicación

¹⁶ Página web: <http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/propT7.htm>.

2.7 Deformaciones

El hormigón tiene características elásticas, plásticas, líquidas y gaseosas ya que en él se encuentran sus componentes tales como granulados, cemento, agua, aire incluido los cuales coexisten en el mismo y de esta forma aportan al desempeño mecánico de la mezcla al estar sometido a esfuerzos los que generan deformaciones ya sea de cargas o bajo la acción de fuerzas externas y de características inelásticas. De esta manera es posible definir al hormigón como pseudo-sólido.

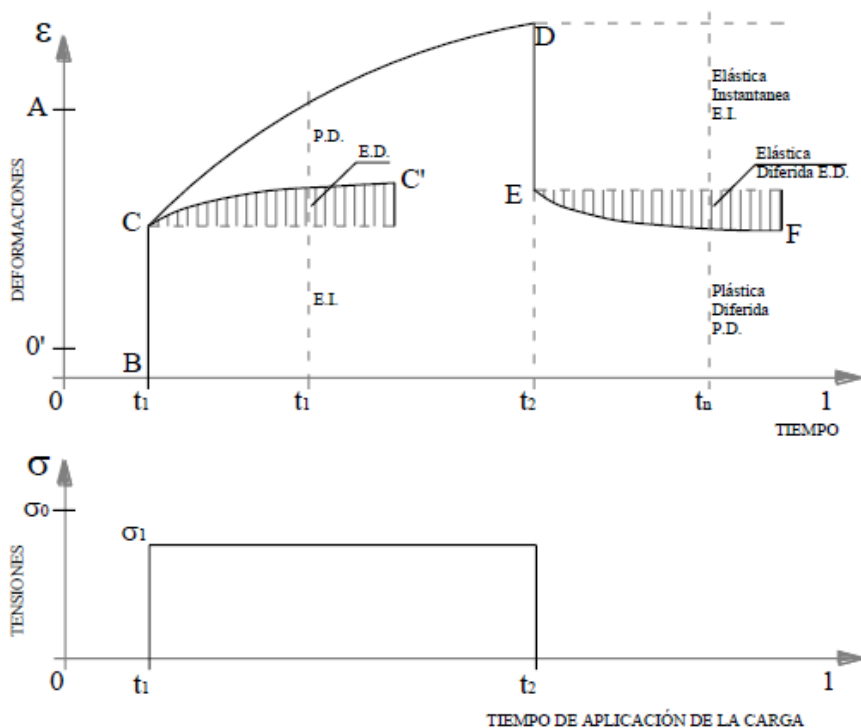
Para poder determinar este desempeño del hormigón, es necesario expresar la variación entre el comportamiento de los diferentes tipos de hormigones y sus componentes, los cuales son expresados mediante curvas que relacionan el esfuerzo de compresión y su deformación, los cuales son obtenidos mediante las probetas cilíndricas normalizadas a edades especificadas.

Las deformaciones obtenidas al aplicar esfuerzos axiales de compresión en cilindros de hormigón, mediante un proceso de carga y descarga en función del tiempo, se puede observar mediante en la Figura 2.14, explicada a continuación.

En el diagrama expuesto posteriormente se resume que luego de cargar y descargar a tensión obtenemos una deformación instantánea, la cual es remanente y no es recuperable en su totalidad durante el proceso de carga y descarga siempre y cuando luego que se vaya a cargar la probeta no sobrepase la carga tensionante anteriormente colocada. Por tanto existe dos tipos de deformaciones instantáneas del hormigón: la deformación elástica y la deformación remanente, de las cuales la primera es recuperable y la segunda no.

De esta manera se determina que el hormigón se comporta frente a las cargas sucesivas como perfectamente elástico.

FIGURA 2.14. Diagrama de esfuerzo axiales de compresión en cilindros de hormigón en proceso de carga y descarga.



Fuente: MONTOYA-MESEGUER-MORÁN, “Hormigón Armado”, catorceava edición. pág.89

En resumen se pueden clasificar las deformaciones ya sea por cargas exteriores, deformaciones térmicas y de retracción, las cuales se clasifican a continuación.

Tabla 2.11. Deformaciones del Hormigón.

	Dependiente de las cargas exteriores		Independiente de las cargas exteriores
	Instantáneas	Diferidas (fluencia)	
Reversibles	Elásticas Instantáneas	Elásticas diferidas	Térmicas
Irreversibles	Remanentes	Plásticas diferidas	Retracción

Fuente: MONTROYA, “Hormigón armado” pág. 90, Catorceava Edición

- **Deformación elástica**

Cuando un elemento es sometido a la acción de cargas y al ser descargado recupera su forma inicial, es denominado como elemento elástico; en el caso del hormigón cuando se somete a cargas de compresión bajas, se deforma elásticamente.

Al conjunto de deformaciones diferidas de un modo simplificado se les denomina fluencia, lo cual se encuentran englobados las deformaciones elástica diferida y plástica diferida. Y se admite que la deformación por fluencia tiende hacia una asíntota, cuyo valor es proporcional a la deformación elástica instantánea.

En el instante que cargamos una probeta a compresión, inicialmente aparecerá una deformación instantánea la cual es visible en la primera fase del diagrama esfuerzo-deformación unitaria, que tiene una configuración lineal.

Al momento de descargar inmediatamente la probeta, las deformaciones producidas tienden a desaparecer, lo cual no es posible, ya que la deformación no se anula en su totalidad, se recupera la mayor parte y queda una deformación remanente la cual no es recuperable y por ello es permanente.

- **Deformaciones laterales**

Son evidenciadas cuando los elementos son sometidos a esfuerzos ya sean de tracción o de compresión. En el caso de tracción se produce una reducción en el ancho del elemento produciendo la llamada deformación lateral negativa, además se genera un alargamiento de la longitud del elemento, lo que genera una deformación axial positiva.

Los elementos también presentan deformaciones laterales cuando están sometidos a cargas de compresión, las cuales aumentarán el ancho, originando una deformación lateral positiva, en sentido longitudinal tendríamos un acortamiento lo que da lugar a una deformación axial negativa.

La relación entre las deformaciones transversales y longitudinales en el hormigón sometido a cargas de compresión, da como resultado el coeficiente de Poisson.

- **Deformaciones plásticas**

Las deformaciones plásticas se presentan en el hormigón, las cuales permiten tolerar deformaciones permanentes, sin que se produzca la rotura del elemento. La acción de cargas sostenidas evidencia una deformación plástica y el flujo plástico.

El incrementar las cargas implica que las deformaciones aumenten y sean de mayor magnitud, lo que genera que la curva esfuerzo vs. deformación se de mayor extensión, llevando así al estado inminente de rotura de una manera acelerada e irreversible.

- **Deformación por contracción**

La progresiva pérdida de agua del hormigón en el proceso de fraguado y endurecimiento hace que este volumen se contraiga, con lo cual se producen deformaciones.

El fenómeno de retracción es un fenómeno complejo, para simplificarlo podría decirse que el hormigón está compuesto con cinco estados distintos de agua:

- El agua de cristalización
- El agua de gel
- El agua intercrystalina
- El agua adsorbida, que forma meniscos en la periferia de la pasta de cemento que une los granos de árido
- El agua capilar o libre

El agua capilar y parte del agua adsorbida se evaporan a temperaturas normales, por ello el hormigón debe estar permanentemente húmedo para evitar cambios en el volumen los cuales afectaran fisuras y retracción de la masa del hormigón.

CAPÍTULO III

3. DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS MATERIALES

En este capítulo se abordará sobre las características óptimas de los agregados mediante los ensayos realizados en laboratorio de los agregados, utilizados para la investigación de hormigones de alta resistencia, a través de las normas técnicas ecuatorianas INEN y las normas internacionales utilizadas como son ACI y ASTM respectivamente.

3.1 AGREGADOS

3.1.1 Selección de Materiales

La importancia que tiene el seleccionar la procedencia de los agregados está influenciada por la misma investigación, y por lo mismo el determinar que el material tiene un correcto desempeño para la utilización que se requiera, que en este caso es la obtención de hormigones de alta resistencia. De esta manera se visitó la cantera “Construarenas Cía. Ltda.” Prefabricados, Construcciones y Arenas, la que produce material pétreo por medio de la explotación y trituración de rocas las cuales proceden de los alrededores de la zona rural de Pifo.

La cantera seleccionada tiene una extensión de 36 hectáreas, la cual posee diferentes tamaños nominales como es el caso de árido grueso como es el caso de $\frac{3}{4}$ y $\frac{1}{2}$ pulgada, además podemos encontrar agregado fino triturado con diferentes módulos de finura lo cual es un parámetro que satisface las necesidades de nuestra investigación.

3.1.2 Ubicación, características de la zona y explotación de los agregados del sector de Pifo.

Ubicación

La cantera “Construarenas Cía. Ltda” se encuentra ubicada en la Provincia de Pichincha, en el cantón Pifo, al Sur – Este de la ciudad de Quito. Su ingreso es en el Km 2 de la Vía Pifo – Pintag del sector Palugo, encontrándose a una altura alrededor de 2830 msnm.

FIGURA 3.1. Ubicación de la cantera “Construarenas Cía. Ltda”



Fuente: Foto satelital tomada de Google Earth.

Vista de vías de acceso y alrededores con su tiempo y distancia aproximada de llegada.

FIGURA 3.2. Cantera “Construareñas Cía. Ltda.”



Fuente: Foto satelital tomada de Google Earth

Extensión y área de explotación.

Coordenadas

- ✓ Sur: 0°14'42.81" S
- ✓ Oeste: 78°18'47.86" O
- ✓ Elevación: 2830 msnm
- ✓ Altitud de visión 3.83 Km (observado desde google Earth)

El Área aproximada de la Cantera “Construareñas” es de 36 ha = 36000 m².

Características de la zona

La zona de Pifo donde se encuentra la cantera que se utilizó para la investigación, proviene de la formación Volcánica de Guambi (Pleistoceno), en la cual existen dos coladas de andesitas contemporáneas a la deposición de parte de la Cangagua. Los rasgos de flujo son muy evidentes en la observación, donde la Cangagua está sobre los sedimentos Chichi.

“En la zona de extracción existe afloramientos de material volcánico, tipo lavas, donde las rocas se presentan en forma de bloques, con fragmentos menores y clastos de roca con finos areno limosos.”¹⁷

El material que es extraído de la cantera, en su gran mayoría, son rocas tales como andesitas, sedimentarias y andesitas meteorizadas.

Este material obtenido del sector de Pifo es considerado uno de los mejores en nuestro país, ya sea por sus propiedades físicas y mecánicas, las cuales son las de mayor importancia en nuestro tema expuesto, ya que por su contenido de tipo silíceo y provenientes de rocas volcánicas son los más óptimos desde el punto de vista de durabilidad a agentes agresivos.

Geología

Forma parte del afloramiento relacionado al Antisana el flujo de lava con transición a brechas, las cuales se encuentran en la parte superior y en el piso del flujo. La brecha es una escoria espumosa, mientras la lava es muy masiva. Existe una capa delgada de Cangahua.

¹⁷ DEL SALTO. R, “Estudio de Impacto Ambiental para la apertura de la vía de interconexión Ontaneda, Av. Simón Bolívar-6 de Diciembre-Conocoto”, p. 27, Quito, (2012).

Explotación de los agregados de Pifo

En la actualidad, la cantera de Pifo “Construarenas Cía. Ltda.” viene explotando material de su mina, en la misma que se desarrolla la explotación de acuerdo al consumo o venta que ella genera. El avance de explotación se lo hace tomando en cuenta la estabilidad del macizo rocoso.

En la siguiente fotografía, se puede apreciar el área de explotación, en donde las instalaciones principales de la cantera son: la zona de ingreso y pesaje de los volquetes, las oficinas de administración general, la zona de depósito de stocks, la planta de trituración primaria, secundaria y terciaria, las vías de acceso internas a los frentes de explotación y los niveles de explotación actuales y proyectados en la Planificación Minera a Corto Plazo.¹⁸

FOTOGRAFÍA 3.1. Cantera Construarenas.



Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 18/08/2013.

¹⁸ Recalde E. “Metodología de Planificación Minera a Corto Plazo y Diseño minero a Mediano Plazo en Cantera Pifo, p. 3 (2009).

FOTOGRAFÍA 3.2. Producción de Agregado Fino, Cantera “Construareñas”-Pifo.



Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 18/08/2013.

3.1.3 Estudio de propiedades físicas y mecánicas de los agregados del sector de Pifo.

A partir de las propiedades características de los agregados, se podrá determinar y garantizar si es factible o no, utilizar este material pétreo para realizar las mezclas óptimas de hormigón y con mayor razón se los deberá evaluar de una manera más objetiva ya que se trata de hormigones de alta resistencia, los cuales requieren de una mejor calidad física y mecánica.

A continuación se detallan cada uno de los ensayos realizados en laboratorio, los cuales están guiados a partir de las normas ecuatorianas INEN.

3.1.3.1 Granulometría

Particularmente esta propiedad influye de una forma muy visible en los diseños de mezclas de hormigón, la cual depende de la pasta de cemento y agua, de tal forma, que en combinación con agregados distribuidos de varios tamaños óptimos ocupan entre el 59% y 76% del volumen total del hormigón, los cuales al mezclarse influyen en el desarrollo de la trabajabilidad, segregación, y características de acabado del hormigón.

El método de ensayo se utiliza principalmente para determinar la graduación de los materiales con el propósito de utilizarlos como áridos para el hormigón, su objeto es hacer pasar las partículas por una serie de tamices de distintos tamaños de malla ordenados por abertura desde el mayor a el menor, los que actúan como filtros o cedazos de los granos, como lo indica la norma NTE INEN 696:2011 (ASTM – C136).

Brevemente se pueden explicar los tipos de granulometrías características:

1. Bien gradada: Obtenida cuando el agregado presenta una distribución uniforme de mayor a menor. Gráficamente es una línea continua.
2. Mal Gradada: Existe una discontinuidad en el porcentaje retenido de cada tamiz, es decir, la grafica presenta desviaciones.
3. Uniforme: Se observan partículas del agregado del mismo tamaño.
4. Abierta o Discontinua: Se produce cuando en ciertos tamices no se ha retenido material, la curva graficada obtenida será discontinua.

Granulometría de agregado grueso

La serie de tamices utilizados para el agregado grueso son 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", #4.

El material a ser tamizado fue previamente lavado ya que de esta forma se utilizará para la el diseño del hormigón y además debe encontrarse seco, previamente cuarteado. La ejecución de tamizado puede ser realizada mediante el empleo de una maquina o de forma manual.

Para nuestro caso fue de manera manual, lo que debe ser de una forma adecuada para que la actividad ejecutada sea bien realizada y sean obtenidos los datos necesarios.

De acuerdo a la norma es necesario determinar la cantidad que se utilizara para el ensayo, de tal manera es necesario conocer que el tamaño a ser empleado de acuerdo a la siguiente tabla es de 25 mm (ripio tamaño 67), por ello la cantidad de árido grueso que se utilizara es 10 kg.

Tabla 3.1 Tamaño de la muestra para ensayo del árido grueso

Tamaño nominal máximo, Aberturas cuadradas, en mm (pulgadas)	Tamaño de la muestra del ensayo Mínimo (kg)
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

Fuente: Normas Técnicas Ecuatorianas, NTE INEN 696:2011. Áridos. Análisis Granulométrico en los Áridos, Fino y Grueso, pág. 3

Material y equipo utilizado:

- Guantes y mascarillas
- Palas
- Carretilla

- Horno
- Cernidor
- Serie de tamices. Norma NTE INEN 154
- Máquina para tamizar gravas
- Recipientes metálicos
- Balanza ($A = \pm 0,1 \text{ Kg.}$)
- Balanza electrónica ($A = \pm 0,1 \text{ g}$)
- 10000g de agregado grueso (Cantera “Construareñas Cía. Ltda.”)

Procedimiento:

1. Cuartear el material a ser tamizado, en este caso los 10000 g.
2. Pesar el agregado una vez seleccionado y colocar en una bandeja metálica.
3. Secar el material en un horno que tenga una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
4. Seleccionar los tamices necesarios y adecuados que cubran los tamaños de las partículas del material a ensayarse.
5. Ordenar los tamices en forma decreciente según el tamaño de su abertura, de arriba hacia abajo y colocar la muestra en el tamiz superior.
6. Si es posible colocar toda la muestra, caso contrario realizarlo en partes para ejecutar el tamizado de una forma más fácil y efectiva.
7. Una vez tamizado el material, pesamos la cantidad retenida en cada tamiz sin dejar residuos en su interior.

8. Los valores obtenidos registrar y realizar los cálculos respectivos.

Granulometría de agregado fino

La serie de tamices para el agregado fino es: 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y bandeja.

De la misma manera que el agregado grueso, este también fue lavado previamente ya que se debe realizar el ensayo tal y como se utilizará para el diseño de la mezcla.

Además es necesario que el agregado posea una correcta granulometría, más aun cuando nos referimos a hormigones de alta resistencia, razón por la cual se procede a realizar la corrección granulométrica respectivamente.

Material y equipo utilizado:

- Guantes y mascarillas
- Palas pequeñas
- Serie de tamices. Norma NTE INEN 154
- Recipientes metálicos
- Balanza ($A = \pm 0,1$ Kg.)
- Balanza electrónica ($A = \pm 0,1$ g)
- 600g de agregado fino (Cantera "Construareñas Cía. Ltda.")

Procedimiento:

1. Realizar por medio de cuarteo la selección de la muestra requerida, aproximadamente 600g.

2. Colocar los tamices uno sobre el otro desde la bandeja seguido desde de menor abertura hasta el de mayor abertura, taparlo para que no exista ninguna pérdida de material durante la ejecución del ensayo.
3. Poner el material en el tamiz superior y agitar de forma mecánica o manual hasta que no pase ningún residuo de material por ninguno de los tamices.
4. Pesar el material retenido de cada uno de los tamices y registrar los valores.
5. Realizar los cálculos y diagramas respectivos.

Por medio de la obtención de las curvas granulométricas de los agregados gruesos y agregados finos con los datos obtenidos respectivamente, se determinan factores derivados del análisis granulométrico como son:

- ✓ El módulo de finura (MF)
- ✓ El tamaño máximo nominal (TMN)

Módulo de finura (MF)

Fundamento Teórico:

- Módulo de Finura del agregado fino (MF):

Es el parámetro obtenido entre la suma de los porcentajes retenidos acumulados de las mallas estándar para el agregado fino (N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100) todo dividido para 100, como se muestra a continuación.

$$M.F = \frac{\%ret. Acum. (N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

➤ Módulo de Finura del agregado grueso (MF):

Es obtenido sumando los porcentajes retenidos acumulados de las mallas estándar para el agregado total y dividido para 100, como se muestra a continuación.

$$M.F = \frac{\%ret. Acum. (3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

Las especificaciones técnicas para el agregado fino son de mucha importancia, las cuales son:

- El módulo de finura no debe ser menor que 2.3 ni mayor que 3.1
- Los agregados finos cuyos módulos de finura varían entre 2.2 y 2.8 se obtienen concretos de buena trabajabilidad y reducida segregación.
- Los agregados finos cuyos módulos de finura varían entre 2.8 y 3.2 son los más indicados para producir hormigones de alta resistencia.

Tamaño máximo nominal (TMN)¹⁹

Parámetro característico derivado del análisis granulométrico, definido como el siguiente tamiz que le sigue en abertura (mayor) a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más.

¹⁹ <http://laboratoriosdehormigones.blogspot.com/2010/06/granulometria-de-los-agregados-y.html>.

TABLA DE RESULTADOS

AGREGADO GRUESO



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO

NORMA: NTE INEN 696:2011 (ASTM - C 136) **ENSAYO N°:** 1 de 4

ORIGEN: PIFO **FECHA:** 23/10/2013

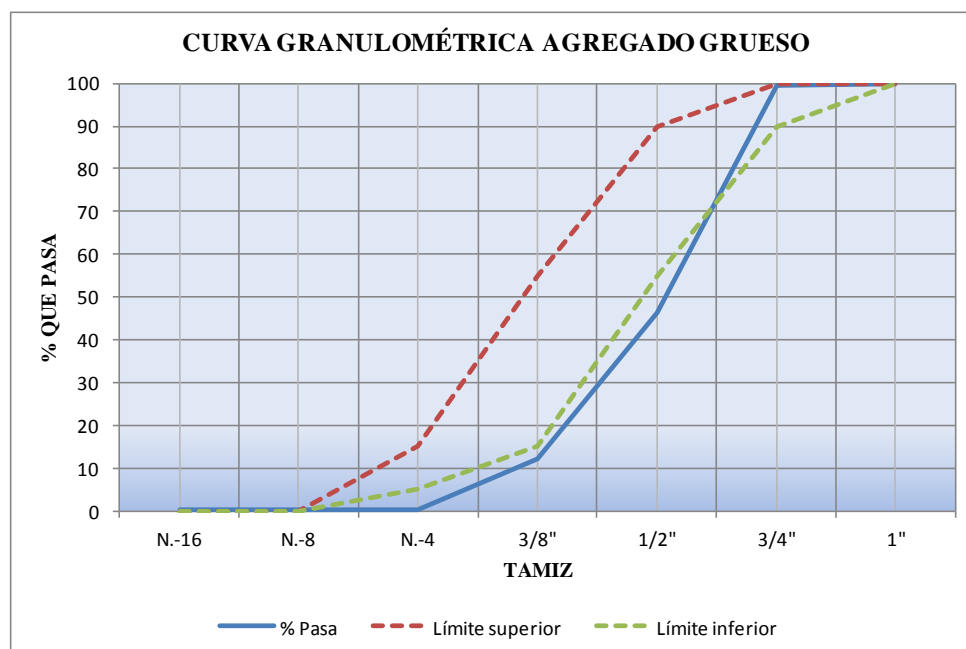
Masa inicial de la muestra = 10129.00 g

TAMIZ	RETENIDO		%		LÍMITES ESPECÍFICOS
	PARCIAL (g)	ACUMULADO (g)	RETENIDO	RET. ACUM	
2 1/2"	0.00	0.00	0.00	0.00	—
2"	0.00	0.00	0.00	0.00	—
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	0.00	—
1"	0.00	0.00	0.00	0.00	100
3/4"	49.00	49.00	0.48	0.48	90 - 100
1/2"	5392.00	5441.00	53.23	53.72	20 - 55
3/8"	3464.00	8905.00	34.20	87.92	0 - 15
N.-4	1188.00	10093.00	11.73	99.64	0 - 5
N.-8	14.00	10107.00	0.14	99.78	—
N.-16	7.00	10114.00	0.07	99.85	—
BANDEJA	15.00	10129.00	0.15	100.00	0.00

Modulo de Finura: 6.88

T.N.M= 1/2"

Nota.- Granulometría sin ajuste





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO

NORMA: NTE INEN 696:2011 (ASTM - C 136) **ENSAYO N°:** 2 de 4

ORIGEN: PIFO **FECHA:** 23/10/2013

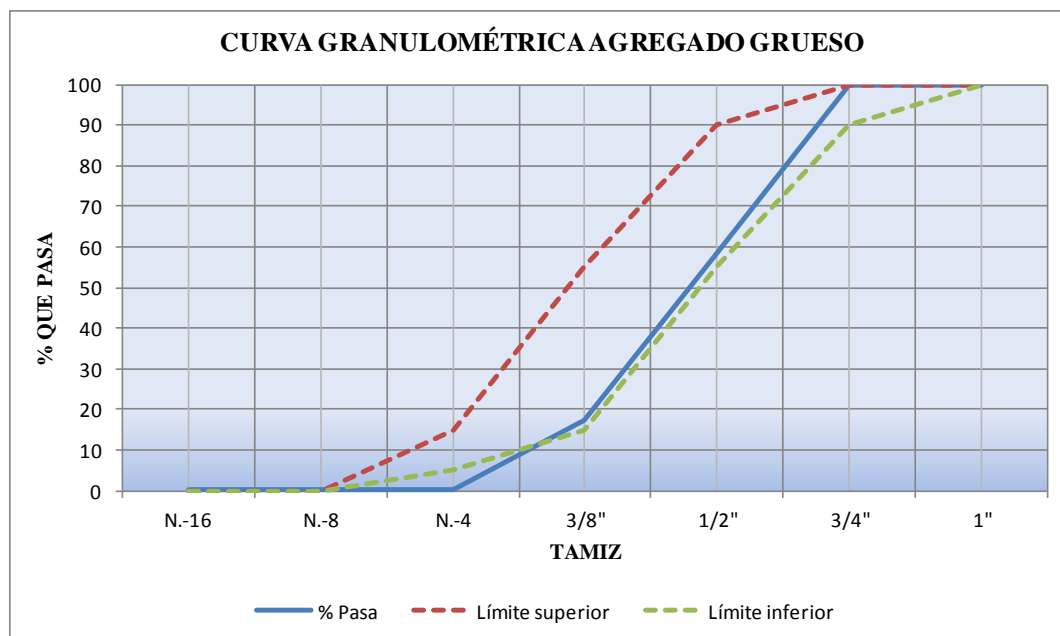
Masa inicial de la muestra = 18205.00 g

TAMIZ	RETENIDO		%		LÍMITES	
	PARCIAL (g)	ACUMULADO (g)	RETENIDO	RET. ACUM	PASA	ESPECÍFICOS
2 1/2"	0.00	0.00	0.00	0.00	—	—
2"	0.00	0.00	0.00	0.00	—	—
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	0.00	—	—
1"	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100
3/4"	55.00	55.00	0.30	0.30	99.70	90 - 100
1/2"	7549.00	7604.00	41.47	41.77	58.23	20 - 55
3/8"	7419.00	15023.00	40.75	82.52	17.48	0 - 15
N.-4	3107.00	18130.00	17.07	99.59	0.41	0 - 5
N.-8	42.00	18172.00	0.23	99.82	0.18	—
N.-16	12.00	18184.00	0.07	99.88	0.12	—
BANDEJA	21.00	18205.00	0.12	100.00	0.00	—

Modulo de Finura: 6.82

T.N.M= 1/2"

Nota.- Granulometría sin ajuste





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO

NORMA: NTE INEN 696:2011 (ASTM - C 136) **ENSAYO N°:** 3 de 4

ORIGEN: PIFO **FECHA:** 23/10/2013

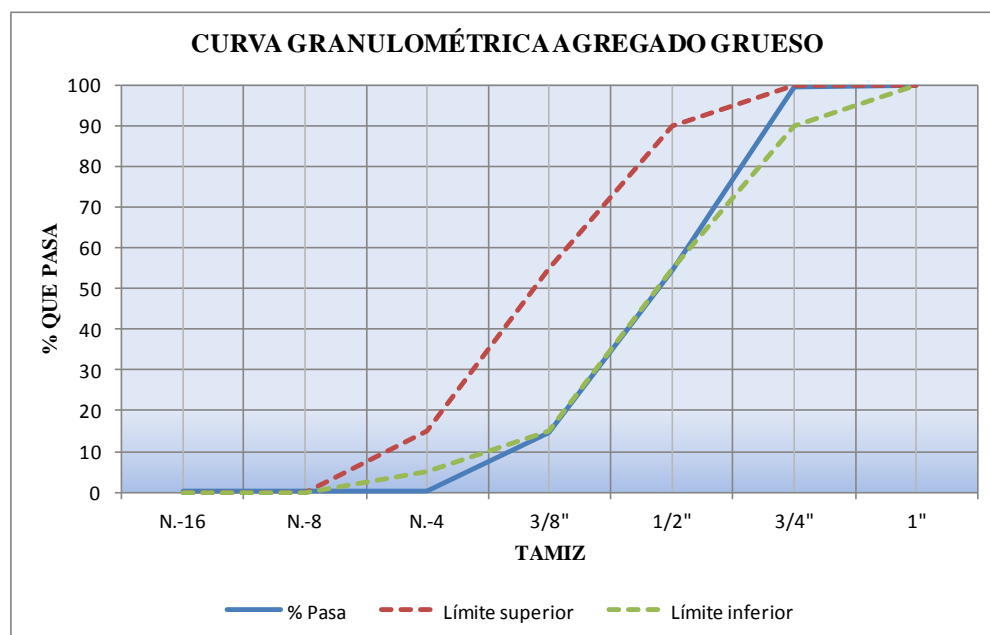
Masa inicial de la muestra = 16356.00 g

TAMIZ	RETENIDO		%		LIMITES ESPECIFICOS
	PARCIAL (g)	ACUMULADO (g)	RETENIDO	RET. ACUM	
2 1/2"	0.00	0.00	0.00	0.00	
2"	0.00	0.00	0.00	0.00	
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	0.00	
1"	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	76.00	76.00	0.46	0.46	99.54
1/2"	7379.00	7455.00	45.11	45.58	54.42
3/8"	6493.00	13948.00	39.70	85.28	14.72
N.-4	2339.00	16287.00	14.30	99.58	0.42
N.-8	32.00	16319.00	0.20	99.77	0.23
N.-16	11.00	16330.00	0.07	99.84	0.16
BANDEJA	26.00	16356.00	0.16	100.00	0.00

Modulo de Finura: 6.85

T.N.M= 1/2"

Nota.- Granulometría sin ajuste





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO

NORMA: NTE INEN 696:2011 (ASTM - C 136) **ENSAYO N°:** 4 de 4

ORIGEN: PIFO **FECHA:** 23/10/2013

Masa inicial de la muestra = 1000.00 g

TAMIZ	RETENIDO		%	%	%	LÍMITES ESPECÍFICOS
	PARCIAL (g)	ACUMULADO (g)	RETENIDO	RET. ACUM	PASA	
2 1/2"	0.00	0.00	0.00	0.00	—	—
2"	0.00	0.00	0.00	0.00	—	—
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	0.00	—	—
1"	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	-
3/4"	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100
1/2"	50.00	50.00	5.00	5.00	95.00	90 - 100
3/8"	400.00	450.00	40.00	45.00	55.00	40 - 70
N.-4	450.00	900.00	45.00	90.00	10.00	0 - 15
N.-8	100.00	1000.00	10.00	100.00	0.00	0 - 5
BANDEJA	0.00	1000.00	0.00	0.00	100.00	

Modulo de Finura: 6.35

T.N.M= 1/2"

Nota.- Granulometría con ajuste de curva.

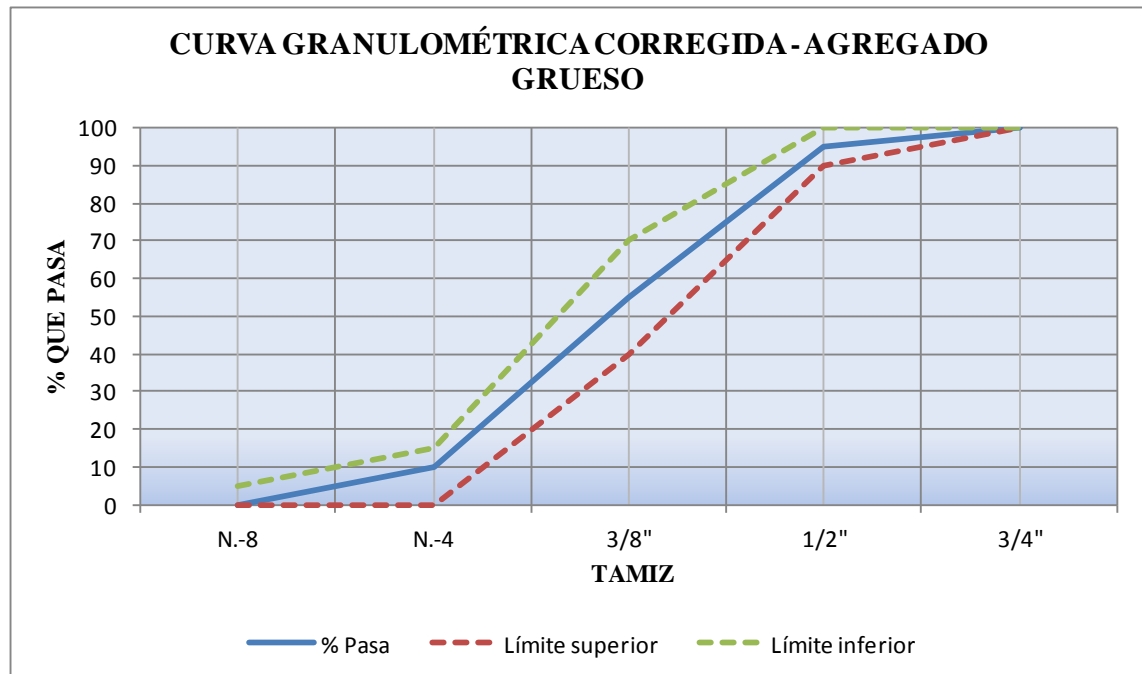


TABLA DE RESULTADOS

AGREGADO FINO



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO

NORMA: NTE INEN 696:2011 (ASTM - C 136) **ENSAYO N°:** 1 de 4

ORIGEN: PIFO **FECHA:** 28/10/2013

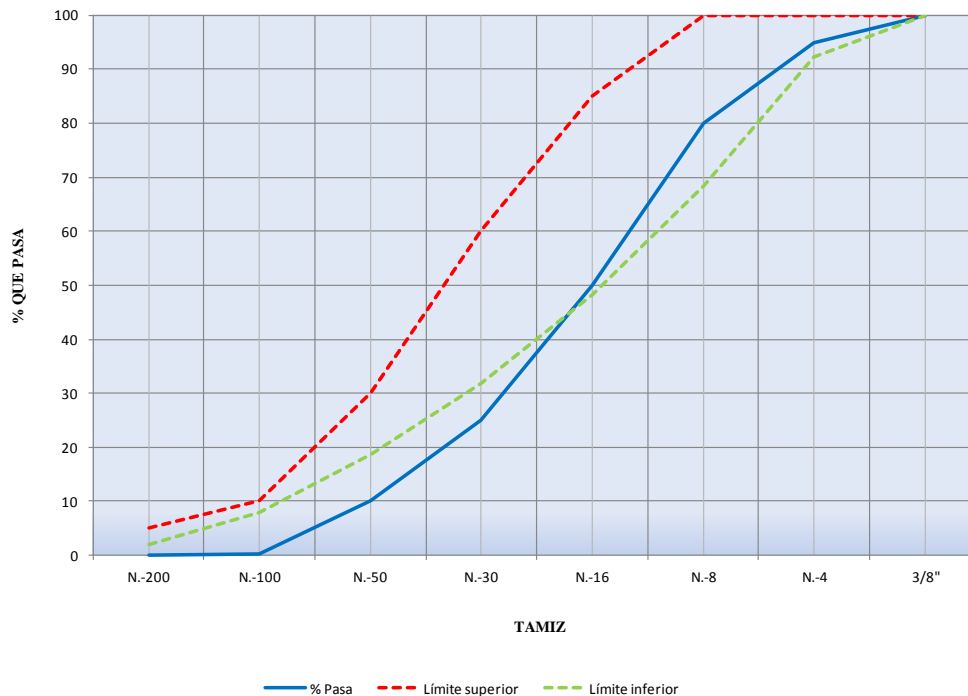
Masa inicial de la muestra = 534.30 g

TAMIZ	RETENIDO		% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	% PASA
	PARCIAL (g)	ACUMULADO (g)			
3/8"	0.00	0.00	0	0	100
N.-4	40.70	40.70	8	8	92
N.-8	127.60	168.30	24	31	69
N.-16	108.90	277.20	20	52	48
N.-30	87.10	364.30	16	68	32
N.-50	71.00	435.30	13	81	19
N.-100	56.30	491.60	11	92	8
N.-200	32.70	524.30	6	98	2
BANDEJA	10.00	534.30	2	100	0

Modulo de Finura: 3.33

Nota.- Granulometría sin ajuste

CURVA GRANULOMÉTRICA AGREGADO FINO





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO

NORMA: NTE INEN 696:2011 (ASTM - C 136) **ENSAYO N°:** 2 de 4

ORIGEN: PIFO **FECHA:** 28/10/2013

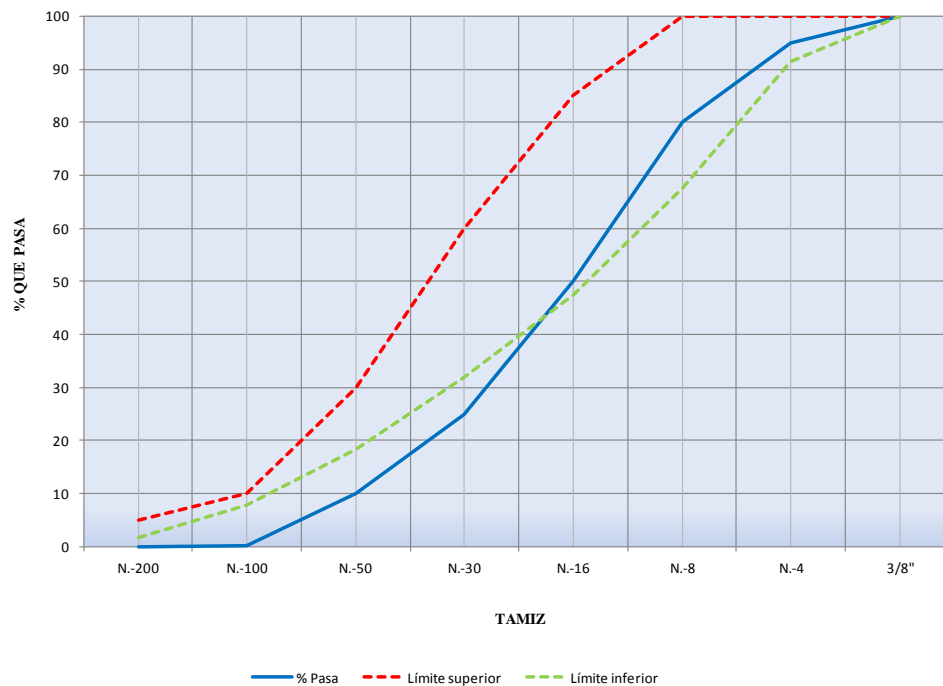
Masa inicial de la muestra = 552.20 g

TAMIZ	RETENIDO		% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	% PASA
	PARCIAL (g)	ACUMULADO (g)			
3/8"	0.00	0.00	0	0	100
N.-4	47.00	47.00	9	9	91
N.-8	132.00	179.00	24	32	68
N.-16	111.50	290.50	20	53	47
N.-30	85.30	375.80	15	68	32
N.-50	74.60	450.40	14	82	18
N.-100	59.10	509.50	11	92	8
N.-200	33.00	542.50	6	98	2
BANDEJA	9.70	552.20	2	100	0

Modulo de Finura: 3.35

Nota.- Granulometría sin ajuste

CURVA GRANULOMÉTRICA AGREGADO FINO





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO

NORMA: NTE INEN 696:2011 (ASTM - C 136) **ENSAYO N°:** 3 de 4

ORIGEN: PIFO **FECHA:** 28/10/2013

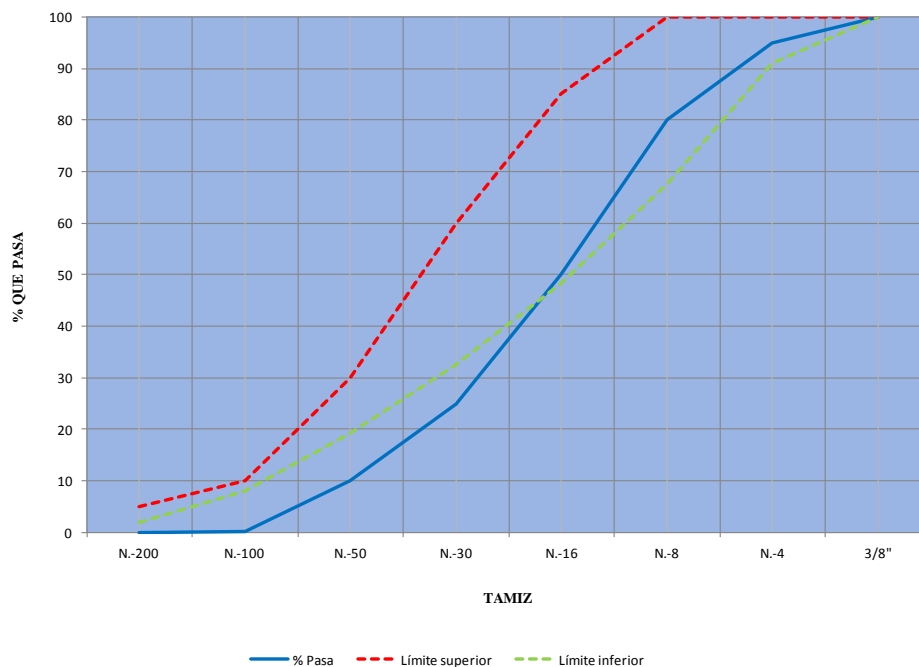
Masa inicial de la muestra = 563.70 g

TAMIZ	RETENIDO		%	%	%
	PARCIAL (g)	ACUMULADO (g)		RET. ACUMULADO	PASA
3/8"	0.00	0.00	0	0	100
N.-4	50.80	50.80	9	9	91
N.-8	131.60	182.40	23	32	68
N.-16	109.20	291.60	19	52	48
N.-30	88.00	379.60	16	67	33
N.-50	75.90	455.50	13	81	19
N.-100	62.20	517.70	11	92	8
N.-200	35.40	553.10	6	98	2
BANDEJA	10.60	563.70	2	100	0

Modulo de Finura: 3.33

Nota.- Granulometría sin ajuste

CURVA GRANULOMÉTRICA AGREGADO FINO





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO

NORMA: NTE INEN 696:2011 (ASTM - C 136) **ENSAYO N°:** 4 de 4

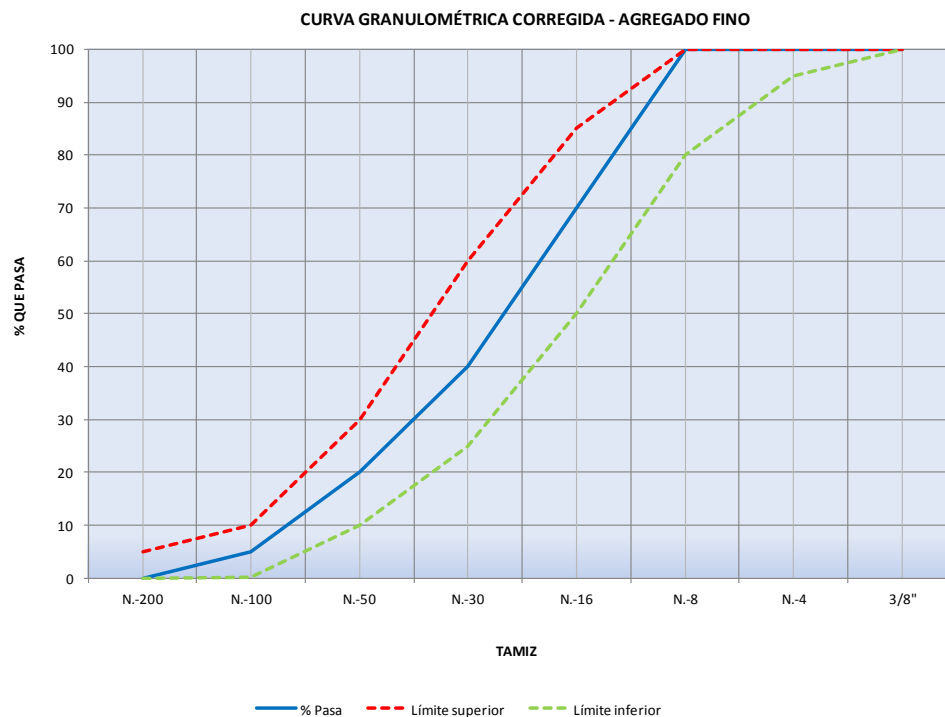
ORIGEN: PIFO **FECHA:** 28/10/2013

Masa inicial de la muestra = 500.00 g

TAMIZ	RETENIDO		% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	% PASA
	PARCIAL (g)	ACUMULADO (g)			
3/8"	0.00	0.00	0	0	100
N.-4	0.00	0.00	0	0	100
N.-8	0.00	0.00	0	0	100
N.-16	150.00	150.00	30	30	70
N.-30	150.00	300.00	30	60	40
N.-50	100.00	400.00	20	80	20
N.-100	75.00	475.00	15	95	5
N.-200	25.00	500.00	5	100	0
BANDEJA	0.00	500.00	0	100	0

Modulo de Finura: 2.65

Nota.- Curva granulométrica ajustada.



3.1.3.2 Abrasión

En los agregados gruesos, una de las propiedades físicas en los cuales su importancia y su conocimiento son indispensables en el diseño de mezclas, es la resistencia a la abrasión o desgaste de los agregados.

Esta variable es de suma importancia en el diseño de la misma, ya que con ella se conocerá la durabilidad y la resistencia que tendrá el concreto en la fabricación del hormigón.

Según la norma NTE INEN 860:2011(ASTM – C131), establece que la abrasión se evalúa mediante la pérdida de masa por desgaste e impacto utilizando la máquina de los Ángeles. Lo que nos indica si el agregado grueso es el adecuado para el diseño de la mezcla.

El ensayo consiste en hacer golpear la muestra con una carga abrasiva dentro del tambor metálico a una determinada velocidad. Dentro del tambor se encuentran unas aspas o pestañas las cuales recogen la muestra y las esferas de acero las cuales crean un efecto de impacto y trituración mediante la rotación del mismo. Luego del número de revoluciones establecido según normativas, el contenido triturado es removido y la porción de agregado es tamizado para medir el desgaste como pérdida en porcentaje.

La carga abrasiva constituida por esferas de acero dependerá de la graduación granulométrica de las muestras según la tabla adjunta:

Tabla 3.2. Especificaciones de la carga para ensayo Abrasivo.

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: Norma NTE INEN 860:2011, pág. 3

Tabla 3.3 Gradación de las muestras de ensayo

TAMIZ		MASA POR TAMAÑOS INDICADA (g) - GRADACIÓN			
PASA	RETIENE	A	B	C	D
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	Nº 4			2500±10	
Nº 4	Nº 8				5000±10
TOTAL		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

Fuente: Norma NTE INEN 860:2011, pág. 4

Material y equipo utilizado:

- Carretilla.
- Palas.
- Horno.
- Guantes de caucho.
- Mascarilla.
- Balanza ($A = \pm 0.1$ Kg).
- Fuentes Metálicas.
- Tamices.
- Máquina “de Los Ángeles”.
- Tamiz Nº 12
- Esferas con masa de 390 y 445 gramos.
- Muestra de 5000 ± 10 g (gradación B). Agregado grueso cantera “Construarenas”.

Procedimiento:

1. Pesar el material de acuerdo a la gradación que se escogió.
2. Colocar las esferas respectivas dentro del tambor, poner la muestra seca en la máquina de los Ángeles, para este caso se utilizará la gradación B la cuál especifica 11 esferas.
3. Tapar el tambor y hacer girar con una velocidad de 30 – 33 rev/min durante 100 revoluciones.
4. Retirar el material conjuntamente con las esferas, el material obtenido pasar por el tamiz N°12, el residuo retenido pesar y volver a colocar en el tambor.
5. El material residuo obtenido del paso 4 colocar en la máquina de los Ángeles conjuntamente con el mismo número de esferas hasta completar las 500 revoluciones.
6. Retirar el material del tambor y pasar por el tamiz N°12.
7. Pesar el material retenido en el tamiz N°12.
8. Limpiar los materiales utilizados.
9. Registrar los datos obtenidos y calcular los parámetros necesarios.

**TABLA DE RESULTADOS - ENSAYO DE ABRASIÓN DEL AGREGADO
GRUESO.**



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO

NORMA: NTE INEN 860:2011 (ASTM - C 131) **ENSAYO N°:** 1 de 5

ORIGEN: PIFO **FECHA:** 23/10/2013

Tipo de Graduación de la muestra : **B**

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa Inicial	5000.00	gr.
2	Retenido en el Tamiz N° 12. Después de 100 revoluciones	4702.00	gr.
3	Pérdida después de 100 revoluciones	298.00	gr.
4	Pérdida después de 100 revoluciones	5.96	%.
5	Retenido en el Tamiz N° 12. Después de 500 revoluciones	3723.00	gr.
6	Pérdida después de 500 revoluciones	1277.00	gr.
7	Pérdida después de 500 revoluciones	25.54	%.
8	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	0.23	-

ENSAYO N°: 2 de 5

Tipo de Graduación de la muestra : **B**

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa Inicial	5000.00	gr.
2	Retenido en el Tamiz N° 12. Después de 100 revoluciones	4687.00	gr.
3	Pérdida después de 100 revoluciones	313.00	gr.
4	Pérdida después de 100 revoluciones	6.26	%.
5	Retenido en el Tamiz N° 12. Después de 500 revoluciones	3733.00	gr.
6	Pérdida después de 500 revoluciones	1267.00	gr.
7	Pérdida después de 500 revoluciones	25.34	%.
8	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	0.25	-

ENSAYO N°: 3 de 5Tipo de Graduación de la muestra : **B**

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa Inicial	5000.00	gr.
2	Retenido en el Tamiz N° 12. Después de 100 revoluciones	4701.00	gr.
3	Pérdida después de 100 revoluciones	299.00	gr.
4	Pérdida después de 100 revoluciones	5.98	%.
5	Retenido en el Tamiz N° 12. Después de 500 revoluciones	3763.00	gr.
6	Pérdida después de 500 revoluciones	1237.00	gr.
7	Pérdida después de 500 revoluciones	24.74	%.
8	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	0.24	-

ENSAYO N°: 4 de 5Tipo de Graduación de la muestra : **B**

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa Inicial	5000.00	gr.
2	Retenido en el Tamiz N° 12. Después de 100 revoluciones	4700.00	gr.
3	Pérdida después de 100 revoluciones	300.00	gr.
4	Pérdida después de 100 revoluciones	6.00	%.
5	Retenido en el Tamiz N° 12. Después de 500 revoluciones	3728.00	gr.
6	Pérdida después de 500 revoluciones	1272.00	gr.
7	Pérdida después de 500 revoluciones	25.44	%.
8	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	0.24	-

ENSAYO N°: 5 de 5Tipo de Graduación de la muestra : **B**

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
1	Masa Inicial	5000.00	gr.
2	Retenido en el Tamiz N° 12. Después de 100 revoluciones	4726.00	gr.
3	Pérdida después de 100 revoluciones	274.00	gr.
4	Pérdida después de 100 revoluciones	5.48	%.
5	Retenido en el Tamiz N° 12. Después de 500 revoluciones	3796.00	gr.
6	Pérdida después de 500 revoluciones	1204.00	gr.
7	Pérdida después de 500 revoluciones	24.08	%.
8	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	0.23	-

3.1.3.3 Colorimetría

Al trabajar con diversos tipos de agregados especialmente con agregados finos, en nuestro caso arenas, es común encontrar materia orgánica conformada en gran parte por residuos de tejidos animales y vegetales, los cuales son formados por carbono, nitrógeno y agua. Debido a este tipo de materia que contienen, es frecuente que se presente alto riesgo para las propiedades del hormigón tales como resistencia, durabilidad y el correcto proceso de fraguado.

Para poder controlar la cantidad de algún tipo de materia no deseable dentro del hormigón, es necesario realizar este tipo de ensayo colorimétrico.

El contenido orgánico de la muestra se lleva a cabo con la utilización de la norma NTE INEN 855:2010 (ASTM – C40).

El ensayo consiste en colocar en un bote o botella de vidrio claro equipadas con tapones no solubles y transparente un determinado volumen de arena, añadiendo una solución de hidróxido de sodio al 3% en volumen ligeramente mayor que el de la arena. Se deja reposar por 24 horas y se observa la coloración de la solución que está por encima de la arena y se compara a trasluz con una placa orgánica de colores estándar que se muestra a continuación:

FIGURA 3.3. Patrón colorimétrico, para conocer el contenido orgánico en el agregado fino



*e) Blanco claro a
transparente*

*d) Amarillo
pálido*

*c) Amarillo
encendido*

*a) Café
claro*

*b) Café
chocolate*

Fuente: ASTM, “Standar Method of Test for Organic Impurities in Sands for Concrete: C40” (1942).

Material y equipo utilizado:

- Botella de vidrio transparente graduada, con capacidad entre 240 cm³ y 470 cm³ equipadas con tapones o tapas herméticas que no sean solubles con ningún reactivo especificado.
- Nivel de la solución de color normalizada: 75 cm³
- Nivel del árido fino: 130 cm³
- Nivel de la solución de NaOH: 200 cm³
- Sosa Caustica (Hidróxido de sodio) NaOH al 3%
- Comparador de color normalizado (Norma ASTM – C40)

Procedimiento:

1. Verter la muestra de árido fino a ser ensayada aproximadamente 450 gr, aproximadamente el nivel equivalente al volumen de 130 cm³.
2. Añadir la solución de hidróxido de sodio hasta que el volumen ocupado por el árido fino y el líquido, después de agitar sea aproximadamente 200 cm³.
3. Tapar la botella, agitar vigorosamente y dejar reposar por 24 horas.

TABLA DE RESULTADOS - ENSAYO DE COLORIMETRÍA



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE COLORIMETRÍA

NORMA: NTE INEN 855:2010 (ASTM - C40)

ENSAYO N°: 1 de 2

ORIGEN: PIFO

FECHA: 29/10/2013

FIGURA	COLOR	CARACTERÍSTICAS
1)	Blanco claro a transparente	Arena de muy buena calidad por no contener materia orgánica, limo o arcilla.

Observación:

El material no presenta ningún tipo de contenido de materia orgánica ya que fue previamente lavado para su utilización.

ENSAYO N°: 2 de 2

FIGURA	COLOR	CARACTERÍSTICAS
1)	Blanco claro a transparente	Arena de muy buena calidad por no contener materia orgánica, limo o arcilla.

Observación:

El material no presenta ningún tipo de contenido de materia orgánica ya que fue previamente lavado para su utilización.

3.1.3.4 Densidad Real (Peso específico)

Esta densidad se define como la relación que existe entre la masa y el volumen de los agregados, ya sea ripio o arena, en el estado SSS (Saturada Superficie Seca), es decir, con poros saturados de agua pero sin humedad en la superficie y sin incluir el volumen de vacíos entre partículas.

La densidad aparente (SSS) se usa si el agregado está húmedo, es decir, si se ha satisfecho su absorción. El factor de densidad aparente es importante para el diseño de mezclas porque con él se puede determinar la cantidad de agregado requerido para un volumen de hormigón.²⁰

Las normas utilizadas para realizar este ensayo son las siguientes:

- Norma NTE INEN 856:2010 (ASTM – C128) para agregados finos.
- Norma NTE INEN 857:2010 (ASTM – C127) para agregados gruesos.

El procedimiento difiere, pero se basa en el mismo principio.

Densidad real del agregado fino.

Consiste en determinar la masa de una muestra en condiciones seca y saturada superficialmente seca. Seguido de ello debemos determinar su volumen como la masa del agua desplazada por el árido sumergido en un matraz aforado. Con estas dos variables masa y volumen se procede a calcular las densidades real y neta, conjuntamente la absorción de agua en función de los valores obtenidos.

Material y equipo utilizado:

- Balanza. Capacidad de 1 kg o más con una apreciación de 0.1 g.

²⁰ <http://ingevil.blogspot.com/2008/10/determinacin-de-la-densidad-nominal-y.html>.

- Picnómetro. Apropiado para que la muestra de ensayo agregado fino sea fácil de introducir y el volumen pueda ser legible en $\pm 0.1 \text{ cm}^3$.
- Molde y compactador para medir humedad superficial. Molde metálico en forma de cono truncado de $40 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ de diámetro interno superior, $90 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ de diámetro interno en la base y altura de $75 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ y el metal debe tener un espesor de 0.8 mm. El compactador debe ser metálico con un peso de $340 \text{ g} \pm 15 \text{ g}$, con la cara compactadora circular y plana, de $25 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ de diámetro.
- Horno. De tamaño suficiente con alcance la temperatura de $110^\circ \text{ C} \pm 5^\circ \text{ C}$.
- Agregado fino aproximadamente 2 kg, cantera “Construarenas”

Procedimiento:

1. Seleccionar la muestra sin impurezas (lavada), aproximadamente 2kg.
2. Dejar secar el agregado a la intemperie cubierta para impedir el ingreso de impurezas.
3. Una vez seca la muestra colocar aproximadamente 700 gr en un recipiente y sumergirlo completamente en agua hasta que se sature durante 24 horas.
4. Cumplidas las 24 horas vaciar el agua del recipiente evitando que se pierdan finos, para luego colocar en una bandeja para que se seque al ambiente y moverla para asegurar un secado homogéneo hasta alcanzar el secado superficial.
5. Para determinar el estado saturada superficial seca (SSS), debemos utilizar el molde troncocónico que debe estar seco interiormente.
6. Colocar de forma suelta el agregado fino hasta llenar el cono, y utilizar el compactador dando 25 golpes de forma espiral distribuidos sobre toda la masa.
7. Retirar el agregado sobrante que se encuentra alrededor del molde troncocónico, y retirar de forma vertical el molde; si se desmorona el

agregado fino el ensayo ha terminado, caso contrario, debe ser secado hasta que alcance el estado SSS.

8. Una vez alcanzado el estado SSS tomamos una porción del material para ser utilizado para el ensayo con el picnómetro.
9. Llenar parcialmente el picnómetro con agua, colocar $500\text{ g} \pm 10\text{ g}$ de agregado fino en estado SSS, llenar con agua hasta aproximadamente el 90% de su capacidad.
10. Agitar manualmente, rodar, invertir, hasta eliminar las burbujas de aire visibles.
11. Una vez eliminado las burbujas determinamos la masa del picnómetro con agua y la muestra.
12. Retirar la muestra y agua del picnómetro, lavarlo y determinar su peso.
13. Secar la muestra al horno hasta conseguir una masa constante y enfriarlo a temperatura ambiente por 1 hora aproximadamente, y pesar.
14. Llenar el picnómetro de agua hasta la marca de calibración y pesar.
15. Registrar los datos y realizar los cálculos respectivos.

Densidad real del agregado grueso.

Este método permitirá determinar con ayuda del principio de Arquímedes y con la segunda ley de Newton la cantidad en volumen que ocupará el agregado grueso en la mezcla del concreto.

La norma NTE INEN 857:2010 establece los procedimientos para este ensayo.

Material y equipo utilizado:

- Balanza: Precisión de 0.5 g.
- Recipiente para la muestra: Canasta de alambre con aberturas de 3.35 mm, con capacidad de 4 litros a 7 litros.
- Tanque de agua: Tanque hermético de mayor diámetro que la canasta.
- Tamices.

- Horno: De tamaño suficiente, que alcance una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$.

Muestra de ensayo.

Debe eliminarse por tamizado las partículas inferiores a 5 mm.

Lavar la muestra hasta remover el polvo superficial de los granos. Se seca la muestra hasta obtener una masa constante.

Enfriar la muestra al ambiente por 24 horas, luego de cumplir las 24 horas se debe sumergir la muestra en agua a temperatura ambiente por 24 horas.

Tabla 3.4. Masa mínima de la muestra de ensayo de Densidad real de los agregados

Tamaño máximo nominal, mm	Masa mínima de la muestra para ensayo, kg
12.5 o menor	2
19.0	3
25.0	4
37.5	5
50	8
63	12
75	18
90	25
100	40
125	75

Fuente: Normas Técnicas Ecuatorianas. NTE INEN 857:2010, pág. 4

Procedimiento:

1. Secar la muestra al horno hasta conseguir una masa constante, luego enfriar hasta que la temperatura este constante en toda la masa. Para luego ser sumergido en agua durante 24 horas.
2. Concluidas las 24 horas, secar la muestra con una franela hasta quitar el agua superficial que se presenta como brillo de las partículas.
3. Pesar la masa obtenida del paso 2 la cual está en condición saturada superficialmente seca.

4. Después de determinar la masa en el aire, colocar la masa en un recipiente y sumergirlo en agua y determinar su masa aparente en agua a $23^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, remover todo el aire atrapado antes de determinar la masa.
5. Secar la muestra en el horno hasta obtener una masa constante a $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$
6. Enfriar la muestra al aire, a temperatura ambiente durante 1 a 3 horas, o hasta que el agregado sea manejable, y determinar su masa.

**TABLA DE RESULTADOS - ENSAYO DE DENSIDAD REAL DE LOS
AGREGADOS**



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE DENSIDAD REAL DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 856 Y 857:2010
(ASTM - C127 Y 128)

ORIGEN: PIFO

ENSAYO N°: 1 de 3

FECHA: 13/11/2013

AGREGADO GRUESO: INEN 857; ASTM C-128

MASA DEL RECIPIENTE + RIPIO EN SSS	3347.00	g
MASA DEL RECIPIENTE	245.00	g
MASA DEL RIPIO EN SSS	3102.00	g
MASA DE LA CANASTILLA SUMERGIDA EN EL AGUA	1653.00	g
MASA DE LA CANASTILLA + RIPIO SUMERGIDA EN AGUA	3463.00	g
MASA DEL RIPIO EN AGUA	1810.00	g
VOLUMEN DESALOJADO	1292.00	cm ³
PESO ESPECÍFICO	2.40	g/cm ³

AGREGADO FINO: INEN 856; ASTM C-127

MASA DE PICNOMETRO + ARENA SSS	577.00	g
MASA DE PICNOMETRO VACIO	160.00	g
MASA DE ARENA EN SSS	417.00	g
MASA DE PICNOMETRO CALIBRADO	659.00	g
MASA DE PICNOMETRO + ARENA SSS + AGUA	904.00	g
VOLUMEN DESALOJADO	172.00	cm ³
PESO ESPECÍFICO	2.42	g/cm ³

ENSAYO N°: 2 de 3**AGREGADO GRUESO: INEN 857; ASTM C-128**

MASA DEL RECIPIENTE + RIPIO EN SSS	3344.00	g
MASA DEL RECIPIENTE	245.00	g
MASA DEL RIPIO EN SSS	3099.00	g
MASA DE LA CANASTILLA SUMERGIDA EN EL AGUA	1653.00	g
MASA DE LA CANASTILLA + RIPIO SUMERGIDA EN AGUA	3462.00	g
MASA DEL RIPIO EN AGUA	1809.00	g
VOLUMEN DESALOJADO	1290.00	cm ³
PESO ESPECÍFICO	2.40	g/cm ³

AGREGADO FINO: INEN 856; ASTM C-127

MASA DE PICNOMETRO + ARENA SSS	542.00	g
MASA DE PICNOMETRO VACIO	160.00	g
MASA DE ARENA EN SSS	382.00	g
MASA DE PICNOMETRO CALIBRADO	659.00	g
MASA DE PICNOMETRO + ARENA SSS + AGUA	893.00	g
VOLUMEN DESALOJADO	148.00	cm ³
PESO ESPECÍFICO	2.58	g/cm ³

ENSAYO N°: 3 de 3**AGREGADO GRUESO: INEN 857; ASTM C-128**

MASA DEL RECIPIENTE + RIPIO EN SSS	3351.00	g
MASA DEL RECIPIENTE	245.00	g
MASA DEL RIPIO EN SSS	3106.00	g
MASA DE LA CANASTILLA SUMERGIDA EN EL AGUA	1653.00	g
MASA DE LA CANASTILLA + RIPIO SUMERGIDA EN AGUA	3479.00	g
MASA DEL RIPIO EN AGUA	1826.00	g
VOLUMEN DESALOJADO	1280.00	cm ³
PESO ESPECÍFICO	2.43	g/cm ³

AGREGADO FINO: INEN 856; ASTM C-127

MASA DE PICNOMETRO + ARENA SSS	516.00	g
MASA DE PICNOMETRO VACIO	160.00	g
MASA DE ARENA EN SSS	356.00	g
MASA DE PICNOMETRO CALIBRADO	659.00	g
MASA DE PICNOMETRO + ARENA SSS + AGUA	876.00	g
VOLUMEN DESALOJADO	139.00	cm ³
PESO ESPECÍFICO	2.56	g/cm ³

3.1.3.5 Densidad aparente suelta y compactada

La densidad aparente es la relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo los poros saturables, y la masa de un volumen igual de agua libre de gas a una temperatura establecida.

Es también llamado peso volumétrico (peso unitario o densidad en masa) de un agregado, es el peso del agregado que se requiere para llenar un recipiente con un volumen unitario específico.

El contenido de vacíos entre partículas, afecta la demanda de mortero en el diseño de la mezcla. La angularidad de los agregados incrementa el contenido de vacíos; áridos bien graduados y granulometría adecuada hacen que disminuya el contenido de vacíos.

El procedimiento se encuentra detallado en la norma NTE INEN 858:2010 (ASTM – C29) para determinar la densidad aparente suelta y compactado de los agregados.

Material y equipo utilizado:

- Balanza
- Varilla de compactación: varilla recta, lisa, de acero con ambos extremos redondeados, de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud aproximadamente.
- Molde: Recipiente cilíndrico de metal, con la parte superior y el fondo rectos y uniformes.

Procedimiento: Densidad aparente suelta

1. Llenar el recipiente cilíndrico con la muestra de agregado grueso o fino distintamente y rasantear sin que haya mucho movimiento o alguna vibración
2. Pesar el material con el molde y registrar su valor.
3. Repetir el procedimiento tres veces para obtener un valor promedio válido.
4. Determinar el volumen del molde.
5. Los valores registrarlos y realizar los cálculos necesarios.

Procedimiento: Densidad aparente compactada.

1. Llenar la tercera parte del recipiente y compactar con la varilla dando 25 golpes distribuidos en la superficie.
2. Llenar los dos tercios del recipiente y realizar el mismo procedimiento anterior.
3. Colocar la tercera capa hasta rebosar, y compactar de la misma forma mencionada, pesar el material compactado con el molde y registrar los datos.
4. Repetir este proceso en tres ocasiones para determinar un valor promedio válido.
5. Tabular los valores obtenidos y realizar los cálculos respectivos.

**TABLA DE RESULTADOS - ENSAYO DE DENSIDAD
APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO
GRUESO**



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO

NORMA: NTE INEN 858:2010 (ASTM - C29)
ORIGEN: PIFO

ENSAYO N°: 1 de 3
FECHA: 8/11/2013

MASA DEL RECIPIENTE VACIO: 1953 g
VOLUMEN DEL RECIPIENTE: 2891 cm³

	SUELTO + RECIPIENTE	UNIDAD
MASA DEL RIPIO:	5365	g
	5370	g
	5442	g
PROMEDIO:	5392	g

DENSIDAD APARENTE: 1.19 g/cm³
SUELTA

COMPACTADO + RECIPIENTE	UNIDAD
5760	g
5735	g
5724	g
5740	g

1.31 g/cm³
COMPACTADA

ENSAYO N°: 2 de 3

MASA DEL RECIPIENTE VACIO: 1953 g
VOLUMEN DEL RECIPIENTE: 2891 cm³

	SUELTO + RECIPIENTE	UNIDAD
MASA DEL RIPIO:	5418	g
	5406	g
	5443	g
PROMEDIO:	5422	g

DENSIDAD APARENTE: 1.20 g/cm³
SUELTA

COMPACTADO + RECIPIENTE	UNIDAD
5775	g
5742	g
5732	g
5750	g

1.31 g/cm³
COMPACTADA

ENSAYO N°: 3 de 3

MASA DEL RECIPIENTE VACIO: 1953 g
VOLUMEN DEL RECIPIENTE: 2891 cm³

	SUELTO + RECIPIENTE	UNIDAD
MASA DEL RIPIO:	5376	g
	5405	g
	5427	g
PROMEDIO:	5403	g

DENSIDAD APARENTE: 1.19 g/cm³
SUELTA

COMPACTADO + RECIPIENTE	UNIDAD
5748	g
5790	g
5713	g
5750	g

1.31 g/cm³
COMPACTADA



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO FINO

NORMA: NTE INEN 858:2010 (ASTM - C29)
ORIGEN: PIFO

ENSAYO N°: 1 de 3
FECHA: 8/11/2013

MASA DEL RECIPIENTE VACIO: 1953 g
 VOLUMEN DEL RECIPIENTE: 2891 cm³

	SUELTO + RECIPIENTE	UNIDAD
MASA DE ARENA:	5814	g
	5898	g
	5793	g
PROMEDIO:	5835	g

DENSIDAD APARENTE: 1.34 g/cm³
 SUELTA

	COMPACTADO + RECIPIENTE	UNIDAD
	6087	g
	6075	g
	6138	g
	6100	g

1.43 g/cm³
 COMPACTADA

ENSAYO N°: 2 de 3

MASA DEL RECIPIENTE VACIO: 1953 g
 VOLUMEN DEL RECIPIENTE: 2891 cm³

	SUELTO + RECIPIENTE	UNIDAD
MASA DE ARENA:	5838	g
	5766	g
	5878	g
PROMEDIO:	5827	g

DENSIDAD APARENTE: 1.34 g/cm³
 SUELTA

	COMPACTADO + RECIPIENTE	UNIDAD
	6100	g
	6100	g
	6105	g
	6102	g

1.44 g/cm³
 COMPACTADA

ENSAYO N°: 3 de 3

MASA DEL RECIPIENTE VACIO: 1953 g
 VOLUMEN DEL RECIPIENTE: 2891 cm³

	SUELTO + RECIPIENTE	UNIDAD
MASA DE ARENA:	5776	g
	5750	g
	5791	g
PROMEDIO:	5772	g

DENSIDAD APARENTE: 1.32 g/cm³
 SUELTA

	COMPACTADO + RECIPIENTE	UNIDAD
	6129	g
	6096	g
	6107	g
	6111	g

1.44 g/cm³
 COMPACTADA

3.1.3.6 Densidad Óptima

Consiste en determinar el porcentaje de agregado grueso y agregado fino para que la mezcla de los dos agregados nos determine la máxima densidad aparente en forma compactada.

El ensayo se basa en tener un volumen de agregado grueso, al cual habrá que llenar los vacíos entre partículas con agregado fino hasta llenar todos los vacíos que se deja entre las partículas de agregado grueso, con lo que se obtiene la densidad aparente máxima.

Las cantidades a ser mezcladas serán en porcentajes variables y complementarios entre sí, de tal forma que la suma de los porcentajes parciales de cada agregado sumados sea el 100% de la mezcla total.

Material y equipo utilizado:

- Balanza: De precisión de 0,1% de la carga de ensayo.
- Varilla de compactación: varilla recta, lisa, de acero con ambos extremos redondeados, de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud aproximadamente.
- Molde: Recipiente cilíndrico de metal, impermeable, con la parte superior y el fondo rectos y uniformes.
- Recipientes: Bandejas para tomar muestras y bandeja grande para mezcla de agregados.
- Palas pequeñas.
- Horno.

Procedimiento:

Preparación de la muestra:

Obtener la muestra de campo, de acuerdo con la NTE INEN 695 y reducirla hasta el tamaño de muestra adecuado, de acuerdo con la NTE INEN 2.566. La muestra reducida secarla al horno a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta obtener masa prácticamente constante.

1. Cuartear el agregado grueso
2. Escoger un recipiente para cada tipo de agregado
3. Determinar la masa para cada recipiente
4. Llenar el recipiente cilíndrico con la mezcla de 100% de árido grueso y con 0% de árido fino; en forma compactada a 25 golpes cada tercio.
5. Enrazar la superficie del recipiente con la varilla de compactación
6. Determinar la masa del recipiente más la mezcla.
7. Entre dos personas verter la mezcla compactada del recipiente sobre la bandeja grande para mezclar el material completamente volteando toda la muestra más de tres veces cada uno
8. Repetir los pasos 4, 5, 6, 7, para los valores procedentes de la relación entre porcentajes de agregado grueso y agregado fino, la cual se ilustran en la tabla de cálculo del ensayo.
9. Calcular el volumen del recipiente cilíndrico
10. Calcular y tabular la masa de la mezcla.
11. Finalmente calculamos la densidad aparente de la mezcla.

**TABLA DE RESULTADOS - ENSAYO DE DENSIDAD ÓPTIMA DE LOS
AGREGADOS**



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

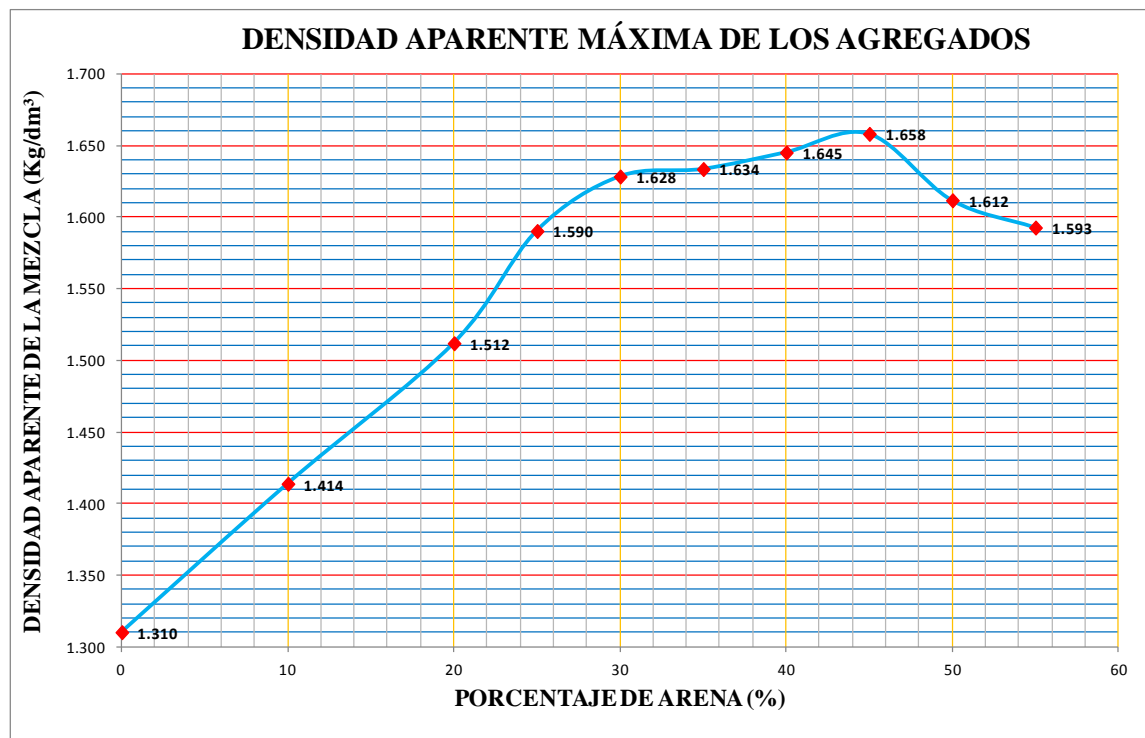
FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE DENSIDAD ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 859:2010 (ASTM - C29)
ORIGEN: PIFO

ENSAYO N°: 1 de 3
FECHA: 11/11/2013





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE DENSIDAD ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 859:2010 (ASTM - C29)
ORIGEN: PIFO

ENSAYO N°: 2 de 3
FECHA: 11/11/2013

MASA DEL RECIPIENTE VACÍO =		1953.00 g							
VOLUMEN DEL RECIPIENTE =		2891.00 cm ³							
MEZCLA %		MASA (Kg)		AÑADIR ARENA (Kg)	MASA DEL RECIP. + MEZCLA (Kg)		PROMEDIO (Kg)	MASA DE LA MEZCLA (Kg)	DENSIDAD APARENTE g/cm ³
RIPIO	ARENA	RIPIO	ARENA						
100	0	20	0	0.00	5.731	5.741	5.736	3.783	1.309
90	10	20	2.22	2.22	6.013	6.003	6.008	4.055	1.403
80	20	20	5.00	2.78	6.314	6.324	6.319	4.366	1.510
75	25	20	6.67	1.67	6.528	6.515	6.522	4.569	1.580
70	30	20	8.57	1.90	6.653	6.664	6.659	4.706	1.628
65	35	20	10.77	2.20	6.557	6.790	6.674	4.721	1.633
60	40	20	13.33	2.56	6.714	6.724	6.719	4.766	1.649
55	45	20	16.36	3.03	6.734	6.728	6.731	4.778	1.653
50	50	20	20.00	3.64	6.554	6.640	6.597	4.644	1.606
45	55	20	24.44	4.44	6.531	6.553	6.542	4.589	1.587

Resultados:

δ ap. Máxima = 1.653 Kg/dm³ →

RIPIO	ARENA
55 %	45 %

Corrección en la curva = 4,00 %

RIPIO	ARENA
59 %	41 %

 δ óptima = 1.650 Kg/dm³ →



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

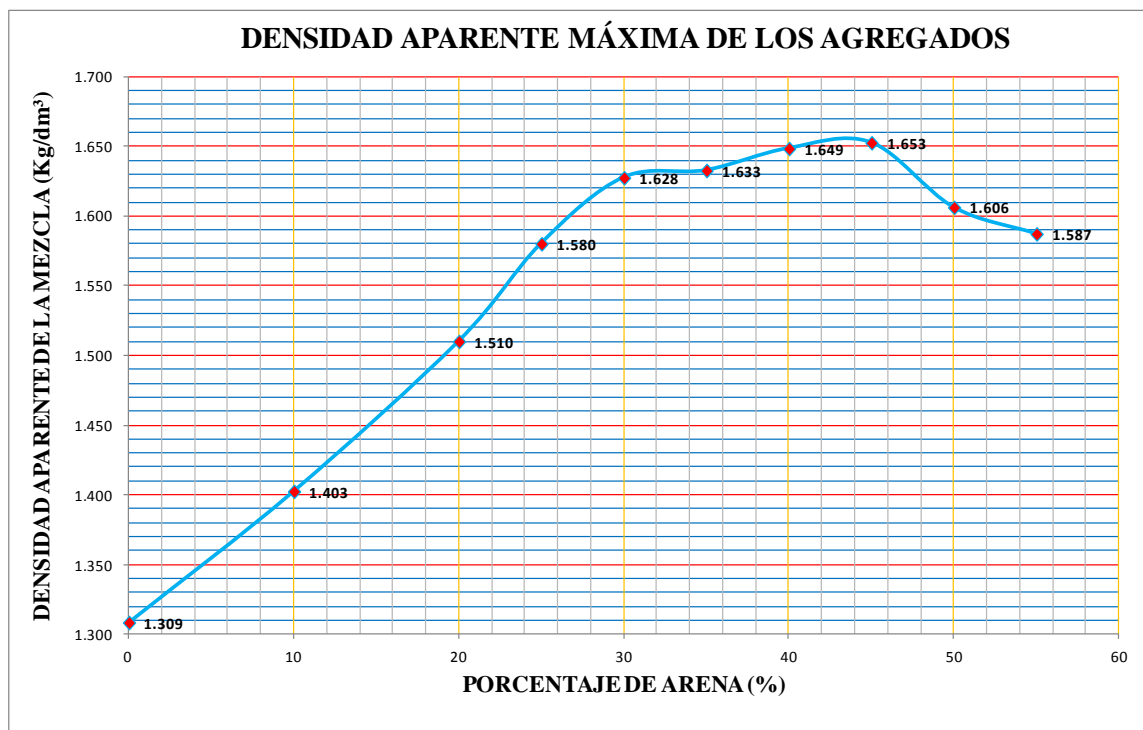
FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE DENSIDAD ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 859:2010 (ASTM - C29)
ORIGEN: PIFO

ENSAYO N°: 2 de 3
FECHA: 11/11/2013





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE DENSIDAD ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 859:2010 (ASTM - C29)
ORIGEN: PIFO

ENSAYO N°: 3 de 3
FECHA: 11/11/2013

MASA DEL RECIPIENTE VACÍO=		1953.00 g							
VOLUMEN DEL RECIPIENTE =		2891.00 cm3							
MEZCLA %		MASA (Kg)		AÑADIR ARENA (Kg)	MASA DEL RECIP. + MEZCLA (Kg)		PROMEDIO (Kg)	MASA DE LA MEZCLA (Kg)	DENSIDAD APARENTE g/cm3
RIPIO	ARENA	RIPIO	ARENA						
100	0	20	0	0.00	5.748	5.765	5.757	3.804	1.316
90	10	20	2.22	2.22	6.030	6.010	6.020	4.067	1.407
80	20	20	5.00	2.78	6.335	6.355	6.345	4.392	1.519
75	25	20	6.67	1.67	6.545	6.530	6.538	4.585	1.586
70	30	20	8.57	1.90	6.670	6.685	6.678	4.725	1.634
65	35	20	10.77	2.20	6.575	6.785	6.680	4.727	1.635
60	40	20	13.33	2.56	6.732	6.744	6.738	4.785	1.655
55	45	20	16.36	3.03	6.753	6.743	6.748	4.795	1.659
50	50	20	20.00	3.64	6.573	6.655	6.614	4.661	1.612
45	55	20	24.44	4.44	6.550	6.568	6.559	4.606	1.593

Resultados:

δ ap. Máxima = 1.659 Kg/dm³ →

RIPIO	ARENA
55 %	45 %

Corrección en la curva = 4.00 %

RIPIO	ARENA
59 %	41 %



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

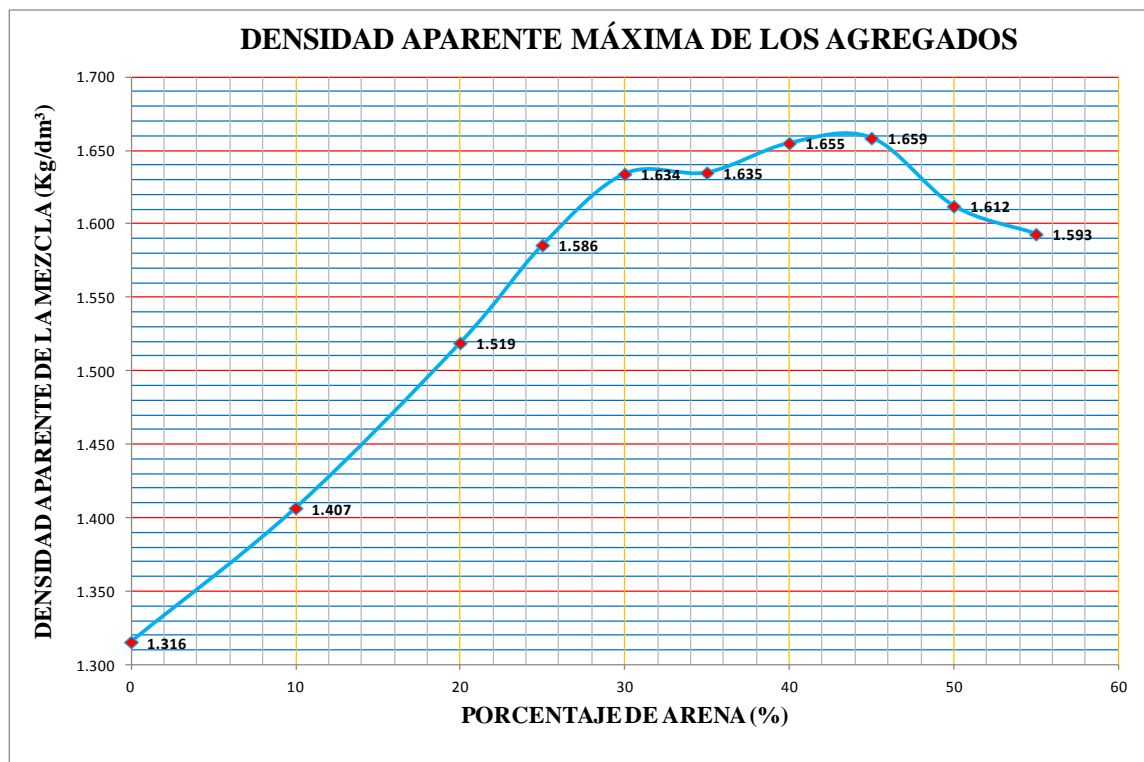
FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE DENSIDAD ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 859:2010 (ASTM - C29)
ORIGEN: PIFO

ENSAYO N°: 3 de 3
FECHA: 11/11/2013



3.1.3.7 Capacidad de absorción

La absorción de los agregados, es el incremento en la masa del agregado debido al agua en los poros del material, sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, lo que es expresado como porcentaje de la masa seca.²¹

La variabilidad del porcentaje de absorción será directamente dependiente de que las partículas tengan poros saturables como no saturables los que obedecerán de su permeabilidad ya que pueden estar vacíos parcialmente saturados o totalmente llenos de agua.

El factor de la capacidad de absorción de los agregados es importante para el diseño de las mezclas, siendo así una variable fundamental para determinar la cantidad de agua a ser utilizada para un volumen unitario de concreto.

La norma que se utiliza para realizar este ensayo es la NTE INEN 856 (ASTM-C127) y la ecuación que se usa para determinar la capacidad de absorción es la siguiente:

$$C.A(\%) = \frac{(M_{sss} - M_{seca})}{M_{seca}} * 100$$

Material y equipo utilizado:

- Balanza Electrónica Ap. $\pm 0,1$ gr
- Molde tronco cónico
- Taqueador (340 ± 15 gr)
- Horno
- Balanza Ap. ± 5 gr
- Ripio y Arena cantera “Construarenas”
- Papel secante o periódico
- Canasta y balde

²¹ <http://es.scribd.com/doc/49092071/capacidad-de-absorcion>.

Procedimiento:

Capacidad de absorción Arena

1. Una cierta cantidad de arena procedemos a secarla al horno para tener en condiciones de (sss) y luego proceder a colocar en el molde troncocónico.
2. Al colocar la arena en el molde y haber dado 25 golpes bien distribuidos en la arena y al retirar el molde se debe observar que la arena se esparce y pierde la forma del molde entonces se encuentra en estado sss.
3. De la cantidad de Arena que se encuentra en estado sss una cantidad es colocada en el horno para determinar su masa seca.

Capacidad de absorción Ripio

1. Previamente tamizado por la malla #4 se coloca una cierta cantidad del material según su tamaño que puede ser aproximadamente de 2 a 3 Kg.
2. Se procede a lavar la muestra y sumergirla en agua durante 24 horas.
3. Secamos la superficie de cada una de las partículas del ripio con una franela hasta eliminar películas visibles de agua en la superficie.
4. Determinamos la masa del ripio en el aire (sss).
5. Introducir la muestra en la canastilla y sumergirla en agua, pesar la canastilla sumergida con el ripio.
6. La cantidad de ripio utilizado colocamos en una bandeja y situamos en el horno para determinar la masa seca del material.
7. Los Datos deberán ser registrados y tabulados.

TABLAS DE RESULTADOS - ENSAYO DE CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 856 Y 857:2010

ORIGEN: PIFO

ENSAYO N°: 1 de 3

FECHA: 12/11/2013

AGREGADO GRUESO: INEN 857; ASTM C-128

MASA DE RIPIO EN SSS + RECIPIENTE	3347.00	g
MASA DE RIPIO SECO + RECIPIENTE	3275.00	g
MASA DE RECIPIENTE	295.00	g
MASA DE AGUA	72.00	g
MASA DE RIPIO SECO	2980.00	g
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	2.42	%

AGREGADO FINO: INEN 856; ASTM C-127

MASA DE ARENA EN SSS + RECIPIENTE	349.00	g
MASA DE ARENA SECA + RECIPIENTE	342.00	g
MASA DE RECIPIENTE	134.00	g
MASA DE AGUA	7.00	g
MASA DE ARENA SECA	208.00	g
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	3.37	%

ENSAYO N°: 2 de 3

AGREGADO GRUESO: INEN 857; ASTM C-128

MASA DE RIPIO EN SSS + RECIPIENTE	3344.00	g
MASA DE RIPIO SECO + RECIPIENTE	3297.00	g
MASA DE RECIPIENTE	306.00	g
MASA DE AGUA	47.00	g
MASA DE RIPIO SECO	2991.00	g
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	1.57	%

AGREGADO FINO: INEN 856; ASTM C-127

MASA DE ARENA EN SSS + RECIPIENTE	471.00	g
MASA DE ARENA SECA + RECIPIENTE	467.00	g
MASA DE RECIPIENTE	139.00	g
MASA DE AGUA	4.00	g
MASA DE ARENA SECA	328.00	g
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	1.22	%



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 856 Y 857:2010
ORIGEN: PIFO

ENSAYO N°: 3 de 3
FECHA: 12/11/2013

AGREGADO GRUESO: INEN 857; ASTM C-128

MASA DE RIPIO EN SSS + RECIPIENTE	3351.00	g
MASA DE RIPIO SECO + RECIPIENTE	3234.00	g
MASA DE RECIPIENTE	245.00	g
MASA DE AGUA	117.00	g
MASA DE RIPIO SECO	2989.00	g
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	3.91	%

AGREGADO FINO: INEN 856; ASTM C-127

MASA DE ARENA EN SSS + RECIPIENTE	315.00	g
MASA DE ARENA SECA + RECIPIENTE	311.00	g
MASA DE RECIPIENTE	135.00	g
MASA DE AGUA	4.00	g
MASA DE ARENA SECA	176.00	g
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	2.27	%

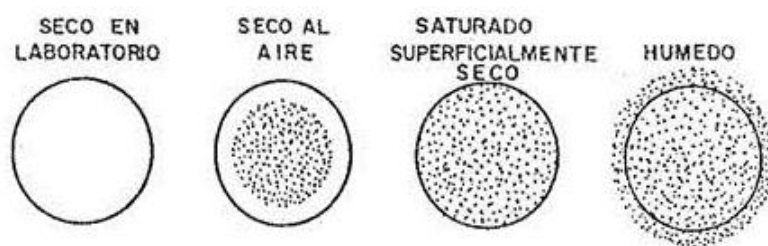
3.1.3.8 Contenido de humedad

Los agregados tienen algún tipo de humedad lo cual está directamente relacionado con la porosidad de las partículas de los áridos finos y áridos gruesos. La porosidad depende de los tamaños de los poros, la permeabilidad y la cantidad o volumen total de poros existentes.

Las partículas pueden estar sometidas a cuatro estados indiferentemente, los cuales son:

- ✓ Totalmente seco: Se logra mediante un secado al horno a 110°C hasta que los agregados tengan un peso constante, lo cual es obtenido generalmente a las 24 horas.
- ✓ Parcialmente seco: Es logrado mediante la exposición al aire libre o seco al ambiente.
- ✓ Saturado y Superficialmente seco (SSS): En este estado límite en el que los agregados tienen todos sus poros llenos de agua pero superficialmente se encuentran secos. Este estado es logrado única y exclusivamente en laboratorio.
- ✓ Totalmente húmedo: Todas las partículas están llenas de agua y además existe agua libre superficial.

FIGURA 3.4. Condiciones de humedad de los agregados.



Fuente: Ingeniería y Construcción, civilgeeks, características físicas de los agregados.

La norma utilizada para determinar el contenido de humedad es NTE INEN 856-857 (ASTM-C566).

La ecuación utilizada para determinar el contenido de humedad es la siguiente:

$$C.H(\%) = \frac{W_0 - W_{seca}}{W_{seca}} * 100$$

Donde,

C.H (%): contenido de humedad

W_0 : masa inicial de la muestra (g)

W_{seca} : masa de la muestra seca (g)

Material y equipo utilizado:

- Balanza: con precisión de 0,1% de la carga de ensayo.
- Recipientes: Bandejas para tomar muestras.
- Horno. Temperatura constante $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Procedimiento:

1. Preparar la mezcla que se utilizará para el ensayo, aproximadamente tomar 2000 gr representativos.
2. Evitando la pérdida de humedad, colocar en un recipiente el agregado y pesar.
3. Una vez pesado colocar en el horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas.
4. Transcurridas las 24 horas, sacar el recipiente con el material y dejar enfriar (para no causar daños en la balanza) para finalmente pesar.
5. Registrar los datos y realizar los cálculos respectivos.

TABLAS DE RESULTADOS - ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 862 (ASTM C-566)
ORIGEN: PIFO

ENSAYO N°: 1 de 3
FECHA: 13/11/2013

AGREGADO GRUESO	
Descripción	Cantidad
Masa del recipiente + ripio húmedo	676.80 g
Masa del recipiente + ripio seco	676.10 g
Porcentaje de Humedad	0.10 %

AGREGADO FINO	
Descripción	Cantidad
Masa del recipiente + ripio húmedo	646.30 g
Masa del recipiente + ripio seco	645.90 g
Porcentaje de Humedad	0.06 %

ENSAYO N°: 2 de 3

AGREGADO GRUESO	
Descripción	Cantidad
Masa del recipiente + ripio húmedo	678.65 g
Masa del recipiente + ripio seco	678.10 g
Porcentaje de Humedad	0.08 %

AGREGADO FINO	
Descripción	Cantidad
Masa del recipiente + ripio húmedo	646.10 g
Masa del recipiente + ripio seco	645.65 g
Porcentaje de Humedad	0.07 %



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

NORMA: NTE INEN 862 (ASTM C-566)
ORIGEN: PIFO

ENSAYO N°: 3 de 3
FECHA: 13/11/2013

AGREGADO GRUESO	
Descripción	Cantidad
Masa del recipiente + ripio húmedo	676.95 g
Masa del recipiente + ripio seco	676.25 g
Porcentaje de Humedad	0.10 %

AGREGADO FINO	
Descripción	Cantidad
Masa del recipiente + ripio húmedo	646.50 g
Masa del recipiente + ripio seco	646.10 g
Porcentaje de Humedad	0.06 %

3.1.4 Resumen y análisis de Resultados

RESUMEN DE ENSAYOS REALIZADOS DE LOS AGREGADOS PARA EL HORMIGÓN													
MATERIAL	PROCEDENCIA	NÚMERO DE ENSAYO N°	PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS										
			MÓDULO DE FINURA	TAMAÑO NOMINAL	ABRASIÓN (%)	COLORIMETRÍA	DENSIDAD D _{ss} (g/cm³)	DENSIDAD APARENTE SUELTA (g/cm³)	DENSIDAD APARENTE COMPACTADA (g/cm³)	DENSIDAD AP.MÁXIMA DE LOS AGREGADOS (g/cm³)	DENSIDAD ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS (g/cm³)	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN (%)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
AGREGADO GRUESO	CANTERA DE PIFO "Construareñas"	1	6.88	1/2"	25.54	—	2.40	1.19	1.31	1.69	1.65	2.42	0.10
		2	6.82	1/2"	24.74		2.40	1.20	1.31	1.64	1.65	1.57	0.08
		3	6.85	1/2"	25.44		2.43	1.19	1.31	1.66	1.66	3.91	0.10
		4	6.35	1/2"	24.08		—	—	—	—	—	—	0.10
PROMEDIO			6.35	1/2"	24.95	—	2.41	1.19	1.31	1.66	1.65	2.63	0.10
AGREGADO FINO	CANTERA DE PIFO "Construareñas"	1	2.65	—	—	Figura 1)	2.42	1.34	1.43	1.69	1.65	3.37	0.06
		2	2.65	—	—		2.58	1.34	1.44	1.64	1.65	1.22	0.07
		3	2.65	—	—	Figura 1)	2.56	1.32	1.44	1.66	1.66	2.27	0.06
		4	2.65	—	—		—	—	—	—	—	—	0.06
PROMEDIO			2.65	—	—		2.52	1.33	1.44	1.66	1.65	2.29	0.06

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014

Análisis de Resultados.

Los resultados obtenidos en los estudios físico y mecánicos de los agregados del sector de Pifo, se los considera correctamente obtenidos, los cuales determinan cada una de las propiedades de tanto los agregados finos y agregados gruesos para poder ser utilizados en la fabricación de Hormigones de Alta Resistencia.

Cada uno de los ensayos realizados cumple con los procedimientos indicados en las normas INEN utilizadas para esta investigación, de tal forma que los resultados de cada uno de los ensayos deben encontrarse dentro de los parámetros óptimos de cada componente, sin embargo esto variará en función de los factores climatológicos imperantes y de la manipulación que se tenga al realizar dichos ensayos.

La comprobación de que los materiales cumplen con las especificaciones necesarias para fabricación de Hormigones de Alta Resistencia se las explicará de manera puntual a continuación en las conclusiones experimentales.

3.1.5 Conclusiones experimentales

❖ Granulometría.

El agregado fino y el agregado grueso utilizado en esta investigación es proveniente de la cantera del sector de Pifo, producto de la trituración y pulverización de rocas naturales. Sus gradaciones se realizaron de acuerdo a las normas INEN 696:2011. Su granulometría no se encuentra dentro de los límites especificados en la norma INEN 872:1982-12, por lo que se debió realizar la corrección de la muestra, para contar con una material de gradación apta para cumplir los parámetros de Hormigones de Alta Resistencia.

❖ Módulo de Finura (MF).

Arena

Se considera que el módulo de finura de la arena adecuado para producir hormigón no debe ser menor 2.3 ni mayor que 3.1, donde un valor menor de 2.0 indica que la arena es fina, 2.5 una arena de finura media y mayor que 3.0 indica una arena gruesa.

Para la fabricación de hormigones de alta resistencia, el modulo de finura de la arena debe encontrarse entre 2.8 y 3.2.

Según los resultados experimentales obtenidos se tiene un modulo de finura de la arena igual $MF_{ARENA} = 2.65$, lo que conlleva a concluir que nos encontramos dentro de los parámetros aptos y además tenemos una Arena de finura media según la norma INEN 872:1982-12 (Requisitos de los agregados)

La utilización de una arena de finura media implica que se pueden producir hormigones de buena trabajabilidad y reducida segregación.

Ripio

El módulo de finura del agregado grueso debe encontrarse dentro del rango de 7.30 a 8.90.

El valor obtenido del módulo de finura $MF_{RIPIO} = 6.35$, nos hace concluir que nuestro material no tiene partículas muy grandes, lo cual es una ventaja para la fabricación del hormigón ya que se presentará poca segregación evitando así un concreto débil y poco durable.

Otra ventaja que se presenta debido a su bajo modulo de finura es la trabajabilidad que nos dará la mezclas preparada con estos materiales.

❖ Resistencia a la Abrasión.

Con nuestro material obtenemos un promedio de **24.95%** siendo menor al límite establecido por la norma INEN860 y 861 que indica que los agregados gruesos no

deberán tener un porcentaje de desgaste mayor de 50% a las 500 revoluciones. Por lo tanto el material es apto para soportar cargas o para resistir al desgaste.

❖ Colorimetría.

La obtención de la denominada Figura 1) se caracteriza por no tener ningún tipo de impurezas orgánicas en los agregados finos lo cual es perjudicial en la dosificación de hormigones, dando así un correcto desempeño al mezclar con el cemento, mejorando su adherencia, lo que permite un hormigón de mayor resistencia mecánica. La aceptabilidad de los áridos finos con respecto a los requisitos de impurezas orgánicas se lo realizó en función de la Norma NTE INEN:872.

❖ Densidad Real.

Este factor es importante para el diseño de mezclas porque con él se determina la cantidad de agregado requerido para un volumen unitario de hormigón, debido a que los poros interiores de las partículas del agregado van a ocupar un volumen dentro de la masa del hormigón y además por la cantidad de agua que se aloja en los poros saturables. El valor de la densidad varía entre 2.48 y 2.8 g/cm³. Según los datos obtenidos de nuestro ensayo en laboratorio, los agregados cumplen satisfactoriamente con este parámetro experimental.

❖ Densidad Aparente.

La densidad aparente del agregado depende de la constitución mineralógica de la roca madre y por lo tanto por su densidad, influenciado además por la cantidad de huecos o poros que contenga la partícula. Por lo general, el valor de esta densidad en los agregados pétreos oscila entre 2.30 g/cm³ y 2.8 g/cm³ según la roca de origen.

Con los datos obtenidos se puede concluir que los agregados del sector de Pifo son porosos.

En cuanto al ensayo de densidad aparente de la mezcla se determinó que el porcentaje máximo de arena y ripio para realizar la mezcla es de 45% y 55% respectivamente, y para obtener el porcentaje óptimo de cada uno de ellos se corrigió con un 4% dando como resultados de porcentajes óptimos : 41% de Arena y de 59% de Ripio.

❖ Capacidad de Absorción.

La capacidad de absorción del agregado está directamente vinculado a la porosidad del mismo, de la misma forma la porosidad depende del tamaño de los poros, el volumen total de poros y su permeabilidad.

El porcentaje aceptable de agua contenida oscila entre 1.5 a 3%. En nuestro caso, los valores promedios de tanto la arena (2.29%) como el ripio (2.63%), se encuentran dentro del rango, lo que nos indica que nuestros agregados retienen una cantidad baja de agua, lo cual es un factor beneficioso que debe tomarse en cuenta en la dosificación de la mezcla.

La baja absorción de agua por parte del agregado permite un cálculo más exacto de la relación agua/cemento. Puesto que la agua calculada necesaria para la hidratación del cemento no será absorbida por la porosidad del agregado.

❖ Contenido de Humedad.

La humedad obtenida promedio de la arena (0.06%) y del ripio (0.10%) son relativamente bajos, lo que implica que los poros del agregado se encontraban parcialmente secos, lo que se deduce que el agregado fino y grueso no aporta una mínima cantidad de agua a la mezcla

3.2 CEMENTO LAFARGE ARMADURO ESPECIAL

El cemento Armaduro es un ejemplar Portland Puzolánico Tipo IP, diseñado para la elaboración de toda clase de prefabricados de hormigón, para diferentes usos.

Cumple con los requerimientos de la norma NTE INEN 490 y ASTM-C595.

Las características del cemento Armaduro Especial han sido ya mencionadas en el capítulo II, las cuales se complementarán con los siguientes ensayos que fueron realizados en laboratorio para la investigación presente.

3.2.1 Propiedades Físicas y Mecánicas del cemento

3.2.1.1 Densidad

La densidad del cemento es un factor que de cierta relevancia en el estudio de las propiedades del mismo, aunque cabe destacar que no es un índice de calidad, más bien es usado para el cálculo de su peso y volumen en una mezcla de hormigón, además para deducir otras características del cemento.

Es conocida como densidad a la relación de masa y volumen la cual dependerá del tipo de cemento, su variación es desde 2.90 gr/cm^3 y 3.10 gr/cm^3 .

La determinación de la densidad del cemento se la realizó mediante dos métodos, el primero es utilizando la probeta de Le Chatellier y el segundo método del Picnómetro, los cuales se detallan a continuación:

Material y equipo utilizado:

- Frasco patrón de Le Chatellier
- Muestra de cemento “Armaduro especial”.
- Gasolina
- Balanza Electrónica Ap. $\pm 0,1 \text{ gr}$
- Picnómetro de 500 cm^3 calibrado
- Papel secante o periódico.

Procedimiento Método Le Chatellier:

1. Se procede pesando 64 gramos de cemento aproximadamente en la balanza.
2. Se llena el frasco Le Chatellier hasta una marca de aforo conocida diferente y mayor a cero con gasolina, la cuál es utilizada para evitar que el cemento se fragüe dentro del frasco, se toma la lectura inicial en mililitros, y de la misma manera se pesa el conjunto.
3. Colocar cuidadosamente dentro del frasco el cemento evitando que se pegue a las paredes del mismo para evitar reducción de su peso.
4. Se procede a sacar los vacíos de la mezcla mediante la agitación manual y movimientos circulares, hasta no observar que existen burbujas dentro de ella.
5. Una vez quitadas las burbujas se procede a tomar la lectura final que aumento debido a la adición del cemento, y se procede a pesar el conjunto.
6. Los datos obtenidos registrarlos y realizar los cálculos requeridos.

Procedimiento Método del Picnómetro:

1. Determinamos el peso del picnómetro vacío.
2. Colocamos una cierta cantidad de cemento y pesamos.
3. Ponemos gasolina hasta la marca de 500 ml del picnómetro y volvemos a pesar.
4. Vaciamos el picnómetro, secamos interna y externamente, colocamos 500 ml de gasolina y determinamos su masa.
5. Los datos obtenidos registrarlos y realizar los cálculos requeridos.

TABLAS DE RESULTADOS - ENSAYO DE DENSIDAD ABSOLUTA DEL CEMENTO



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE DENSIDAD ABSOLUTA DEL CEMENTO

NORMA: NTE INEN 156:2010(ASTM-C127) **ENSAYO N°:** 1 de 3
ORIGEN: LAFARGE-ARMADURO ESPECIAL **FECHA:** 14-15/11/2013

MÉTODO DE LECHATELLIER

CEMENTO (ARMADURO ESPECIAL)

MUESTRA: 1

Lectura inicial del frasco de Lechatellier + Gasolina	0.4	cm ³
Masa del frasco + Gasolina	324.4	g.
Lectura final del frasco + Cemento + Gasolina	20.8	cm ³
Masa final del frasco + Cemento + Gasolina	385.8	g.
Determinación de la Densidad del Cemento	3.01	g/cm ³

MÉTODO DEL PICNÓMETRO

CEMENTO (ARMADURO ESPECIAL)

MUESTRA: 1

Masa de picnómetro vacío	173.6	g.
Masa del picnómetro + Cemento	302.8	g.
Masa del Cemento	129.2	g.
Masa del picnómetro + Cemento + Gasolina	637.3	g.
Masa del picnómetro + 500 cc de Gasolina	541.7	g.
Densidad de la Gasolina	0.7362	g/cm ³
Masa del cemento en gasolina	33.6	g.
Volumen de la Gasolina	45.64	cm ³
Determinación de la Densidad del Cemento	2.83	g/cm ³



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE DENSIDAD ABSOLUTA DEL CEMENTO

NORMA: NTE INEN 156:2010(ASTM-C127) **ENSAYO N°:** 2 de 3
ORIGEN: LAFARGE-ARMADURO ESPECIAL **FECHA:** 14-15/11/2013

MÉTODO DE LECHATELLIER

CEMENTO (ARMADURO ESPECIAL)

MUESTRA: 2

Lectura inicial del frasco de Lechatellier + Gasolina	0.9	cm ³
Masa del frasco + Gasolina	331.9	g.
Lectura final del frasco + Cemento + Gasolina	19.1	cm ³
Masa final del frasco + Cemento + Gasolina	387.3	g.
Determinación de la Densidad del Cemento	3.04	g/cm ³

MÉTODO DEL PICNÓMETRO

CEMENTO (ARMADURO ESPECIAL)

MUESTRA: 2

Masa de picnómetro vacío	173.60	g.
Masa del picnómetro + Cemento	334.50	g.
Masa del Cemento	160.9	g.
Masa del picnómetro + Cemento + Gasolina	661.6	g.
Masa del picnómetro + 500 cc de Gasolina	541.7	g.
Densidad de la Gasolina	0.7362	g/cm ³
Masa del cemento en gasolina	41	g.
Volumen de la Gasolina	55.69	cm ³
Determinación de la Densidad del Cemento	2.89	g/cm ³



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE DENSIDAD ABSOLUTA DEL CEMENTO

NORMA: NTE INEN 156:2010(ASTM-C127) **ENSAYO N°:** 3 de 3
ORIGEN: LAFARGE-ARMADURO ESPECIAL **FECHA:** 14-15/11/2013

MÉTODO DE LECHATELLIER

CEMENTO (ARMADURO ESPECIAL)

MUESTRA: 3

Lectura inicial del frasco de Lechatellier + Gasolina	0.2	cm ³
Masa del frasco + Gasolina	331.3	g.
Lectura final del frasco + Cemento + Gasolina	18.8	cm ³
Masa final del frasco + Cemento + Gasolina	387.7	g.
Determinación de la Densidad del Cemento	3.03	g/cm ³

MÉTODO DEL PICNÓMETRO

CEMENTO (ARMADURO ESPECIAL)

MUESTRA: 3

Masa de picnómetro vacío	173.60	g.
Masa del picnómetro + Cemento	289.5	g.
Masa del Cemento	115.9	g.
Masa del picnómetro + Cemento + Gasolina	627.3	g.
Masa del picnómetro + 500 cc de Gasolina	541.7	g.
Densidad de la Gasolina	0.7362	g/cm ³
Masa del cemento en gasolina	30.3	g.
Volumen de la Gasolina	41.16	cm ³
Determinación de la Densidad del Cemento	2.82	g/cm ³

3.2.1.2 Superficie específica(finura)²²

Es una característica que está íntimamente ligada al valor hidráulico del cemento, ya que influye decisivamente en la velocidad de las reacciones químicas que tienen lugar durante su fraguado y primer endurecimiento.

Al entrar en contacto con el agua, los granos de cemento se hidratan sólo en una profundidad de 0,01 mm, por lo que, si dichos granos fuesen muy gruesos, su rendimiento sería muy pequeño al quedar en su interior un núcleo prácticamente inerte.

Si el cemento posee una finura excesiva, su retracción y calor de fraguado son muy altos, el conglomerado resulta ser susceptible a la meteorización (envejecimiento) y disminuye su resistencia a las aguas agresivas. Las resistencias mecánicas aumentan con la finura, por lo que el cemento portland debe estar finamente molido, pero no en exceso.

Material y equipo utilizado:

- Tamiz N° 325.
- Boquilla rociadora.
- Muestra de cemento (1 gramo) “Armaduro especial”.
- Válvula de presión.
- Balanza Electrónica Ap. $\pm 0,1$ gr

Procedimiento:

1. El tamiz debe encontrarse limpio y seco, colocar la muestra de cemento sobre el tamiz.
2. Ubicar cuidadosamente la muestra con una ligera corriente de agua sin movimientos bruscos.
3. Luego de humedecer la muestra retirar de la boquilla y ajustar la presión de agua de la boquilla a $69 \text{ kPa} \pm 4 \text{ kPa}$.

²² J. Montoya-“Hormigón Armado”, Catorceava Edición, p.12, (2002).

4. Con la presión de agua constante colocar el tamiz debajo de la boquilla y lavar la muestra por un minuto, moviendo el tamiz en forma circular.
5. Concurrido el minuto, retirar el tamiz, secar el residuo y el tamiz en una estufa aproximadamente por unos 30 minutos.
6. Enfriar el tamiz y seguido de ello con una brocha retirar el residuo, con una balanza de precisión de 0.0005 g, determinar el peso del residuo.
7. Los datos obtenidos registrarlos y realizar los cálculos respectivos.

TABLAS DE RESULTADOS - ENSAYO DE FINURA DEL CEMENTO



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE FINURA DEL CEMENTO

NORMA: NTE INEN 957:2012 (ASTM-C430) **ENSAYO N°:** 1 de 3
ORIGEN: LAFARGE-ARMADURO ESPECIAL **FECHA:** 20/12/2013

FINURA DE CEMENTO		
N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Masa de cemento	1.00 g
2	Masa de recipiente	1.98 g
3	Masa de recipiente + retenido	2.04 g
4	Retenido Tamiz No 325 (Residuo) = (2 - 3)	0.06 g
5	Factor de corrección	31.20 %
6	Residuo corregido = $[4*(100 + 5)/1]$	7.87 %
7	Cantidad de pasante corregida (Finura) = (100 - 6)	92.13 %

ENSAYO N°: 2 de 3

FINURA DE CEMENTO		
N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Masa de cemento	1.00 g
2	Masa de recipiente	1.99 g
3	Masa de recipiente + retenido	2.04 g
4	Retenido Tamiz No 325 (Residuo) = (2 - 3)	0.04 g
5	Factor de corrección	31.20 %
6	Residuo corregido = $[4*(100 + 5)/1]$	5.77 %
7	Cantidad de pasante corregida (Finura) = (100 - 6)	94.23 %

ENSAYO N°: 3 de 3

FINURA DE CEMENTO		
N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Masa de cemento	1.00 g
2	Masa de recipiente	1.97 g
3	Masa de recipiente + retenido	2.04 g
4	Retenido Tamiz No 325 (Residuo) = (2 - 3)	0.07 g
5	Factor de corrección	31.20 %
6	Residuo corregido = $[4*(100 + 5)/1]$	9.18 %
7	Cantidad de pasante corregida (Finura) = (100 - 6)	90.82 %

3.2.1.3 Consistencia normal

La importancia que tiene este factor se puntualiza en que, la cantidad de agua por peso de cemento, es proporcional a la resistencia de la mezcla. Si no se conoce la cantidad justa para hidratar el cemento se podría perder propiedades fundamentales, que conllevan a la afectación directa de la calidad de un proyecto u obra.

Conforme se adicione agua a la mezcla se incrementa la plasticidad y fluidez de la pasta, pero la resistencia actúa de forma inversamente proporcional. El agregar la cantidad justa de agua para su hidratación generará una correcta fluidez y consistencia de la pasta, caso contrario de agregar más agua de la necesaria, la pasta perderá su resistencia.

Para realizar este ensayo deben tomarse en cuenta variables importantes dentro del desarrollo tales como la temperatura del agua, la humedad relativa y la temperatura del aire, los cuales son factores que influyen en la reacción química del cemento con el agua.

Material y equipo utilizado:

- Aparato de Vicat.
- Mezclador mecánico dos velocidades (140 ± 5 r/min. y 285 ± 5 r/min.)
- Termómetro temperatura $\pm 1^\circ\text{C}$
- Probeta 250 cm^3 de capacidad.
- Balanza 0,01g de precisión
- Cemento
- Guantes
- Recipientes
- Aforador
- Cucharas
- Cronómetro
- Cono truncado de hule duro.

Procedimiento:

1. Pesar 650 g de muestra de cemento.
2. Medir la cantidad de agua de mezclado (entre 26 y 32 % respecto al peso del cemento).
3. Colocar toda el agua de mezclado en el recipiente de mezclado. Adicionar el cemento y dejar reposar por 30 segundos.
4. Colocar la olla y paleta en la batidora. Mezclar a velocidad baja por 30 segundos.
5. Detener la batidora por 15 segundos. En este lapso raspar e integrar el resto de la pasta adherida a las paredes de la olla.
6. Mezclar por 1 minuto a velocidad media.
7. Rápidamente y utilizando los guantes forme una bola con la pasta y pasar seis veces la bola de una mano a otra hasta producir una masa semiesférica con el fin de introducirla en el cono de hule.
8. Presionar la bola colocada en la palma de la mano contra la parte de mayor diámetro del cono que se sostiene contra la otra mano hasta que el cono quede lleno.
9. Remover el exceso de pasta en el extremo de mayor diámetro con un movimiento sencillo de la mano y coloque el anillo sobre la placa de vidrio.
10. Retirar el exceso de pasta del extremo de menor diámetro con la espátula y alise la superficie de la pasta sin comprimirla con una o dos pasadas de la espátula.
11. Colocar la muestra en el aparato de Vicat.
12. Ubicar el extremo de la aguja de Vicat en ligero contacto con la pasta de cemento. Ajustar la escala en cero o tomar una lectura inicial (penetración inicial).
13. Liberar la aguja y al término de 30 segundos tome la lectura final en mm (penetración final).
14. Realizar el mismo procedimiento pero con distintas cantidades de agua para obtener penetraciones cercanas a 10 mm.
15. El proceso en que finalizado el mezclado hasta liberar la aguja no debe exceder los 30 segundos.

**TABLAS DE RESULTADOS - ENSAYO DE CONSISTENCIA
NORMAL DEL CEMENTO**



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO

NORMA: NTE INEN 157:2010(ASTM-C187) **ENSAYO N°:** 1 de 4
ORIGEN: LAFARGE-ARMADURO ESPECIAL **FECHA:** 7/01/2014

MUESTRA: 1

CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO				
N°	PESO CEMENTO	AGUA		Penetración de la Aguja de Vicat
	g	%	ml	(mm)
1	650	26.0	169.00	10

ENSAYO N°: 2 de 4

MUESTRA: 2

CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO				
N°	PESO CEMENTO	AGUA		Penetración de la Aguja de Vicat
	g	%	ml	(mm)
2	650	27.0	175.50	13

ENSAYO N°: 3 de 4

MUESTRA: 3

CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO				
N°	PESO CEMENTO	AGUA		Penetración de la Aguja de Vicat
	g	%	ml	(mm)
3	650	28.0	182.00	22

ENSAYO N°: 4 de 4

MUESTRA: 4

CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO				
N°	PESO CEMENTO	AGUA		Penetración de la Aguja de Vicat
	g	%	ml	(mm)
4	650	26.5	172.25	12

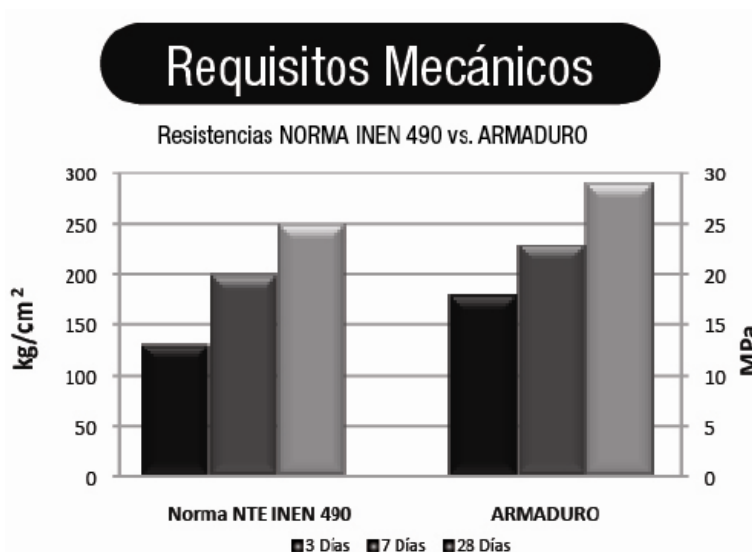
3.2.1.4 Resistencia Cúbica de los morteros de cemento

El ensayo de prueba nos provee información determinada de la resistencia a la compresión de los morteros de cemento hidráulico y otros morteros.

Esta propiedad nos permite conocer la capacidad de soportar cargas de compresión de un determinado cemento, de esta manera es necesario fabricar muestras en forma de cubos compuestos por cemento, agua y arena normalizada con sílice o más conocida como arena de Ottawa.

La determinación de los días de ensayo de las muestras deberá ser evaluado en función de la norma NTE INEN 2380, en la cual nos indica que debemos ensayar a los 3, 7, 28 días de edad, con ello es posible realizar comparación con la ficha técnica del cemento.

FIGURA 3.5. Requisitos Mecánicos comparativos según Norma INEN 490 vs. Armaduro Especial



Fuente: Ficha técnica cemento Armaduro Especial

Tabla 3.5. Resistencias cúbicas de morteros

Resistencia a la Compresión (MPa)	Tipo GU
3 días	13
7 días	20
28 días	28

Fuente: Norma NTE INEN 2380:2011, pág. 3

Material y equipo utilizado:

- Probetas Graduadas.
- Moldes cúbicos de 2 pulgadas (50 mm).
- Mezclador, Tazón y Paleta.
- Mesa de flujo y molde de flujo.
- Apisonador no absorbente.
- Espátula.
- Cuarto de curado.
- Maquina de prueba.
- Arena Estándar Graduada.
- Cemento “Armaduro Especial”

Procedimiento:

- Composición de los Morteros:
 1. Las proporciones de materiales para el mortero estándar será de una parte de cemento por 2.75 partes de arena estándar graduada por peso. Usar una relación agua-cemento de 0.485 para todos los cementos Pórtland y 0.460 para todos los cementos Pórtland con inclusores de aire.
 2. La cantidad de materiales para ser mezclados al mismo tiempo en una colada de mortero para hacer seis y nueve especímenes de prueba será como se indica:

	Número de especímenes	
	6	9
Cemento (g)	500	740
Arena (g)	1375	2035
Agua (ml)		
Portland (0.485)	242	359
Portland con inclusores de aire (0.460)	230	340
Otros (para flujo de 110 ± 5)	--	--

- Determinación del flujo:

1. Limpiar y secar la mesa de flujo, poner el molde del flujo al centro.
2. Colocar una capa de mortero de aproximadamente 1 pulgada (25 mm) de espesor en el molde y compacte 20 veces con el apisonador.
3. Cortar el mortero para obtener una superficie plana, enrasar con la parte superior del molde con el borde recto de una espátula, realizar con un movimiento de sierra.
4. Elevar el molde lejos del mortero un minuto después de completada la operación de mezclado.
5. Inmediatamente dejar caer la mesa a través de una altura de $\frac{1}{2}$ " (13 mm) 25 veces en 15 segundos.
6. Usando el calibrador determinar el flujo por medio de los diámetros del mortero a lo largo de las líneas marcadas en la parte superior de la mesa de flujo, añadiendo las cuatro lecturas.

- Moldeado de espécimen de prueba:

1. Inmediatamente luego de realizado el ensayo de flujo, regresar el mortero de la mesa de flujo al tazón de mezclado. Raspara los lados del tazón y remezclar durante 15 segundos a velocidad media.
2. Iniciar el moldeo de los especímenes dentro de un tiempo total de no más de 2 minutos y 30 segundos después de completar el mezclado original del mortero.

3. Poner una capa de mortero de aproximadamente 1 pulgada (25 mm) en todos los compartimientos del cubo.
4. Compactar el mortero en cada compartimiento 32 veces en alrededor 10 segundos en cuatro rondas.
5. Las cuatro rondas de compactación (32 golpes) del mortero deberán ser completados en un cubo antes de continuar con el siguiente.
6. Cuando se haya completado el compactado de la primera capa en todos los compartimientos de cubo, llenar los compartimientos con el mortero restante y apisonar como para la primera capa.
7. Alisar los cubos con el filo de la espátula una vez a lo largo de la parte superior de cada cubo perpendicularmente a la longitud del molde.
8. Corte el mortero para obtener una superficie a nivel del borde superior.
9. Inmediatamente terminado el moldeo, poner los especímenes en la cámara de curado por 24 horas.
10. Pasadas las 24 horas retirar de los moldes los cubos de mortero y dejarlos en la cámara de humedad o recubiertos con un paño húmedo hasta que se cumplan los días para ensayo.
11. Una vez obtenidos los datos de 3, 7 y 28 días, registrar los valores y realizar los cálculos requeridos.

TABLAS DE RESULTADOS - ENSAYO DE RESISTENCIA CÚBICA DE MORTEROS DEL CEMENTO



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

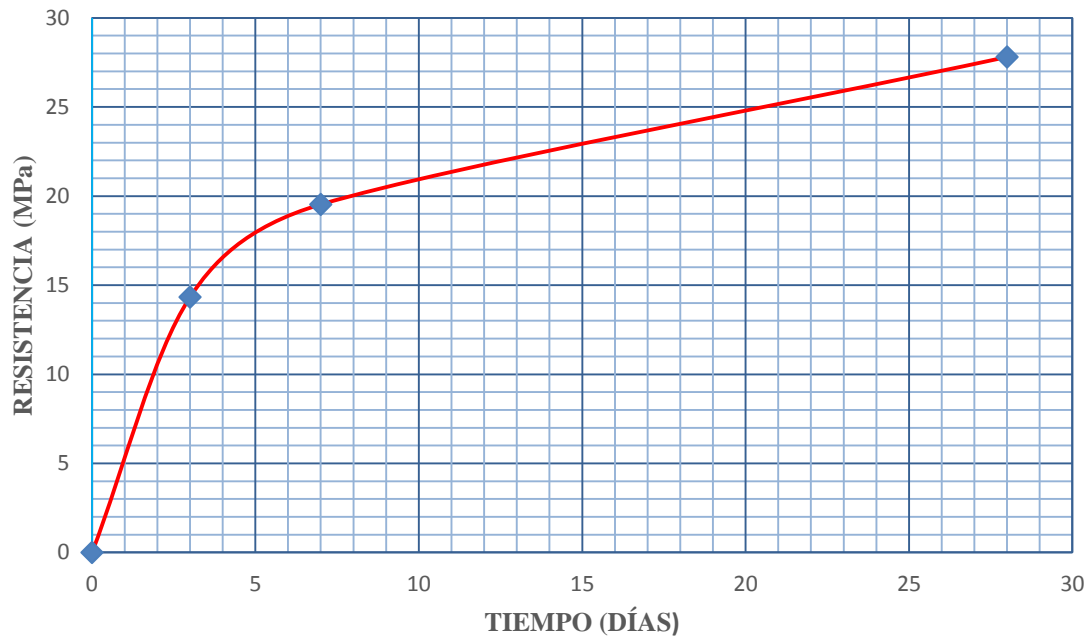
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE RESISTENCIA CÚBICA DE MORTEROS DEL CEMENTO

NORMA: NTE INEN 488:2009(ASTM-C109) **ENSAYO N°:** 1 de 1
ORIGEN: LAFARGE-ARMADURO ESPECIAL **FECHA:** 4/03/2014

MUESTRA N°	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD (DÍAS)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	RESISTENCIA (MPa)	RESISTENCIA PROMEDIO (MPa)
1	04/03/2014	07/03/2014	3	25.00	3789	14.86	14.33
2					3520	13.80	
3		11/03/2014	7		4560	17.88	19.53
4					5400	21.18	
5		01/04/2014	28		6970	27.33	27.80
6					7210	28.27	

RESISTENCIA CÚBICA DE MORTEROS DE CEMENTO



3.2.1.5 Tiempos de fraguado del cemento

El tiempo de fraguado es un periodo en el cual, mediante reacciones químicas del cemento y el agua de amasado, conducen a un proceso que mediante diferentes velocidades de reacción generan calor y dan origen a nuevos compuestos. En la pasta de cemento generan que se endurezca y aglutine al agregado de la mezcla de hormigón y se ponga fuerte y denso, adquiriendo de esta forma una resistencia, este tiempo es de mucha importancia ya que nos orienta para determinar la colocación y acabado del hormigón.²³

El tiempo que transcurre desde el momento que se agrega agua, hasta que la pasta pierde viscosidad y eleva su temperatura se denomina “tiempo de fraguado inicial”, lo que indica que la pasta esta semidura y parcialmente hidratada.

La determinación de los tiempos de fraguado es arbitraria y da una idea del tiempo disponible para mezclar, transportar, colocar, vibrar y apisonar el hormigón y los morteros de una obra, así también como el tiempo necesario para transitar sobre ellos y el tiempo para empezar el curado.

El fraguado del hormigón dependerá no solo de la resistencia a penetración en la pasta de cemento en un instante dado, sino también de los factores que afecten la conectividad entre partículas y vacíos, como por ejemplo su consistencia.

Material y equipo utilizado:

- Aparato de Vicat.
- Balanza.
- Probetas graduadas 20 cm³ o 250 cm³.
- Espátula.
- Anillo cónico.
- Mezclador, tazón y paleta.
- Placa de vidrio.

²³ Gabalec María A, Tesis: Tiempo de Fraguado del Hormigón” p. 3 Argentina (2008).

- Termómetro
- Guantes de hule.
- Enrasador metálico.
- Cronómetro.
- Cemento “Armaduro Especial” 500 g.
- Agua.

Procedimiento:

1. Determinar la temperatura del ambiente entre 20 y 27.5°C y del agua de mezclado no deberá variar de $23 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$.
2. Elaborar una pasta de cemento con 650 g de cemento y con la cantidad de agua determinada para la consistencia normal.
3. Colocar el tazón y espátula listos para ser usados.
4. Colocar el agua en el tazón, agregar el cemento y dejar reaccionar por 30 segundos.
5. Mezclar la pasta con velocidad baja por 30 segundos, detener la mezcladora y retirar la pasta adherida a las paredes del tazón con la espátula, esta acción realizar en 15 segundos.
6. Mezclar nuevamente la mezcla durante 60 segundos a velocidad media.
7. Una vez transcurrido el tiempo, hacer una bola con la pasta de cemento y lanzar de una mano a otra por 6 veces.
8. Colocar la mezcla en el molde de hule y colocar en la parte inferior la placa de vidrio y con la espátula enrasar la parte superior.
9. Calibrar el aparato de Vicat, colocar la aguja de 1 mm en contacto mínimo con a pasta y encerar la medida en cero.
10. Liberar la aguja, sí la penetración es de $25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ tomar el tiempo y ese es el tiempo de fraguado inicial del cemento.
11. Para determinar el fraguado inicial, la aguja no debe penetrar nada y no debe dejar huella en la superficie, una vez obtenido esta característica se tiene el fraguado final y se debe registrar ese tiempo.
12. Registre y tabule los datos obtenidos y realice los cálculos respectivos.

**TABLAS DE RESULTADOS - ENSAYO TIEMPO DE FRAGUADO DEL
CEMENTO**



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO

NORMA: NTE INEN 158:2009(ASTM-C191) **ENSAYO N°:** 1 de 1
ORIGEN: LAFARGE-ARMADURO ESPECIAL **FECHA:** 6/01/2014

TIEMPO DE FRAGUADO		
Lectura	Tiempo	Penetración
No	(min)	(mm)
1	0	39
5	62	37
6	80	37
7	95	36
8	110	36
9	137	35
10	165	23
11	185	20
12	270	1
13	300	0

Datos			
H	E	C	D
137 min	125 min	35 mm	23 mm
FRAGUADO INICIAL		FRAGUADO FINAL	
Penetración (mm)	Tiempo (min)	Penetración (mm)	Tiempo (min)
25	135	0	300

3.2.1.6 Contenido de aire

El contenido de aire, nos ayudará en la determinación de si existirán vacíos entre las partículas llenos de aire en la mezcla de hormigón, este factor dependerá de la calidad del cemento a ser usado, lo cual puede ser evaluado de forma anterior para dar una solución cuando sea obtenido el hormigón.

Material y equipo utilizado:

- Mesa de flujo, molde de flujo y calibrador
- Recipiente de medida cilíndrico metálico.
- Mezcladora, tazón y paletas.
- Enrasador.
- Balanza.
- Probetas de cristal graduadas.
- Compactador.
- Mazo de madera.
- Cuchara metálica.
- Arena normalizada (Ottawa)
- Cemento.

Procedimiento:

1. Dosificar la pasta utilizando 350 g de cemento por cada 1400 g de arena normalizada para producir un flujo de $87 \frac{1}{2} \% \pm 7 \frac{1}{2} \%$.
2. Mezclar el mortero. Siguiendo pasos para determinar el flujo.
3. Una vez que se obtiene el flujo requerido, realizar la prueba de contenido de aire.
4. Utilizando una cuchara colocar en tres capas iguales el mortero.
5. En cada capa compactar 20 veces distribuidos, hasta que se elimine el aire atrapado.

6. Luego de eliminado el aire atrapado y colocado las tres capas, enrasar con una espátula desde la mitad hacia el exterior.
7. Determinar la masa del recipiente con la muestra.
8. Registrar los datos y realizar los cálculos requeridos.

**TABLAS DE RESULTADOS - ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE DEL
CEMENTO**



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE DEL CEMENTO

NORMA: NTE INEN 195:2009(ASTM-C185-02) **ENSAYO N°:** 1 de 3
ORIGEN: LAFARGE-ARMADURO ESPECIAL **FECHA:** 7/01/2014

MATERIAL	CANTIDAD
Cemento	350 g
Arena normalizada	1400 g
Agua	275.00 ml

CONTENIDO DE AIRE	
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Masa del recipiente	694.2 g
Masa de recipiente + contenido	1539.7 g
Masa del mortero (W)	845.5 g
Valor del % de agua de mezclado (P)	78.57 %
Contenido de aire	4.55 %

ENSAYO N°: 2 de 3

MATERIAL	CANTIDAD
Cemento	350 g
Arena normalizada	1400 g
Agua	280.00 ml

CONTENIDO DE AIRE	
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Masa del recipiente	694.2 g
Masa de recipiente + contenido	1533.7 g
Masa del mortero (W)	839.5 g
Valor del % de agua de mezclado (P)	80.00 %
Contenido de aire	4.94 %



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE DEL CEMENTO

NORMA: NTE INEN 195:2009(ASTM-C185-02) **ENSAYO N°:** 3 de 3
ORIGEN: LAFARGE-ARMADURO ESPECIAL **FECHA:** 7/01/2014

MATERIAL	CANTIDAD
Cemento	350 g
Arena normalizada	1400 g
Agua	285.00 ml

CONTENIDO DE AIRE	
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Masa del recipiente	694.2 g
Masa de recipiente + contenido	1532.7 g
Masa del mortero (W)	838.5 g
Valor del % de agua de mezclado (P)	81.43 %
Contenido de aire	4.77 %

3.2.2 Resumen y análisis de Resultados.

RESUMEN DE ENSAYOS REALIZADOS DEL CEMENTO															
MATERIAL	MARCA	NÚMERO DE ENSAYO N°	DENSIDAD REAL (g/cm³)		SUPERFICIE ESPECÍFICA (%)	CONSISTENCIA NORMAL		RESISTENCIA CÚBICA						TIEMPO DE FRAGUADO MÉTODO VICAT (min)	CONTENIDO DE AIRE (%)
			Método Lechatellier	Método Picnómetro		ml	(%)	DIAS	RESISTENCIA (MPa)	DIAS	RESISTENCIA (MPa)	DIAS	RESISTENCIA (MPa)		
CEMENTO	ARMADURO ESPECIAL (LAFARGE)	1	3.01	2.83	92.13	169.00	26.00	3	14.33	7	19.53	28	27.8	135	4.55
		2	3.04	2.89	94.23	175.50	27.00	-	-	-	-	-	300	4.94	
		3	3.03	2.82	90.82	182.00	28.00	-	-	-	-	-	-	4.77	
		4	-	-	-	175.25	26.50	-	-	-	-	-	-	-	
PROMEDIO		-	3.03	2.85	92.39	175.44	26.88	-	14.33	-	19.53	-	27.8	218	4.75

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014

Análisis de Resultados.

Los resultados obtenidos en los ensayos físicos y mecánicos del cemento Armaduro Especial, son considerados correctamente obtenidos, lo cual determina que este tipo de cemento puede ser utilizado en la fabricación de Hormigones de Alta Resistencia.

Cada uno de los ensayos realizados cumple con los procedimientos indicados en las normas INEN utilizadas para esta investigación. Para lo cual a continuación se emitirán las respectivas conclusiones de cada una de las propiedades del cemento.

3.4.1 Conclusiones experimentales

❖ Densidad del cemento.

La determinación de la densidad real del cemento, no es un factor que determina la calidad del mismo, es utilizado para el cálculo del peso y volúmenes en una mezcla de concreto.

El valor del peso específico del cemento se encuentra normalmente entre 3.10 g/cm^3 y 3.15 g/cm^3 . Es posible que este valor se encuentre dentro del rango entre 3.00 g/cm^3 a 3.10 g/cm^3 , en dicho caso se presente se trata de un cemento adicionado.

Para nuestro caso tenemos dos resultados promedios de tanto el Método con el Picnómetro como con Lechatellier, para el desarrollo de la investigación se utilizará el dato promedio del método de Lechatellier ya que por su configuración tiene mayor exactitud, el cual se encuentra dentro del rango de cementos adicionados.

El cemento es adicionado ya que se trata de cemento Portland Puzolánico Tipo IP, caracterizado por el contener puzolana entre un 15% y 40% en masa del cemento Portland Puzolánico.

❖ Superficie específica (Finura del cemento).

La finura del cemento influencia directamente en el calor de hidratación liberado y la velocidad de hidratación.

Cuando se presenta una finura excesiva, la retracción y calor de fraguado son muy altos, lo cual resulta perjudicial, por lo que el conglomerante resulta ser más susceptible al envejecimiento tras un almacenamiento prolongado y además disminuye su resistencia a las aguas agresivas.

El resultado promedio de la Finura del cemento que pasa por el tamiz N°325 obtenido en la prueba de laboratorio es igual 92.39%, el cuál es mayor al 78% mínimo recomendado para tener un grado aceptable de fineza del cemento.

En consecuencia se concluye que el producto Armaduro especial tiene un buen grado de fineza.

❖ Consistencia Normal.

Los valores típicos de la consistencia normal están entre 23% y 33%. El cual no es un índice de calidad del cemento.

Relacionando el resultado promedio obtenido en laboratorio, la consistencia normal al cemento Portland y la norma respectiva, la que enuncia que una pasta de cemento se considera que tendrá consistencia normal cuando la aguja Vicat de 10 mm de diámetro penetre 10 mm en la masa de mortero, podemos concluir que la consistencia normal del cemento entre el 26.0% y 26.5%, es decir, la muestra alcanzará una plasticidad ideal y una fluidez óptima cuando se mezcle con una cantidad de agua entre 169.00 ml y 175.25 ml.

❖ Resistencia Cúbica de los morteros de cemento.

Según la norma INEN 2380:2011 Tabla 1. , Requisitos físicos normalizados del cemento hidráulico, y según la norma de ensayo aplicable INEN 488, específica que para cementos Tipo GU (utilizado para todas las aplicaciones- uso general), las resistencias a los 3, 7 y 28 días de fraguado, deben estar dentro del rango de 13, 20 y 28 MPa respectivamente.

De los resultados obtenidos se tiene que para los 3 días se alcanza una resistencia de 14.33 MPa, para los 7 días una resistencia de 19.53 MPa y para los 28 días una resistencia de 27.8 MPa, de lo que se concluye que si satisface lo estipulado por la norma INEN 2380:2011.

❖ Tiempos de fraguado.

Para determinar si cumple el parámetro de fraguado inicial del cemento, es necesario referirse a la ficha técnica del cemento Armaduro Especial y además a la norma INEN 490.

Tabla 3.6. Tiempo de Fraguado inicial del mortero

PARÁMETRO	INEN 490	ARMADURO
Fraguado Inicial	$\geq 45\% \leq 420 \text{ min}$	120 min

Fuente: Ficha técnica cemento Armaduro especial y norma INEN 490

Comparado con el resultado obtenido en laboratorio, el tiempo de fraguado inicial es de 135 min, de lo que se concluye que el ensayo fue realizado correctamente ya que se encuentra dentro de los parámetros de la norma INEN 490.

Para nuestra investigación se calculó el tiempo de fraguado final, pero no es necesario realizarlo de acuerdo a la norma NTE INEN 488, tan solo es una guía para determinar esta característica.

❖ Contenido de aire.

El contenido de aire promedio obtenido en laboratorio tiene un valor de 4.75%, la Norma NTE INEN 195 determina que el contenido de aire en el mortero en volumen debe tener un porcentaje máximo de 12%.

De esta manera se concluye que el contenido de aire determinado en la masa del mortero se encuentra correcto de acuerdo a la norma especificada anteriormente.

Tabla 3.7. Contenido de aire del mortero

PARÁMETRO	INEN 490	ARMADURO
Contenido de aire	$\leq 12 \%$	4.50 %

Fuente: Ficha técnica cemento Armaduro especial y norma INEN 490

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO DE MEZCLAS DE PRUEBA

4.1 Análisis de la resistencia especificada del hormigón (f'_c)

La resistencia especificada del hormigón (f'_c) es la resistencia que el calculista asume, debe tener un proyecto preparado con este material, ó la resistencia de los diferentes elementos estructurales.

Normalmente la resistencia es comprobada a los 28 días, pero podría tomarse un periodo menor, siempre y cuando el hormigón haya sido así diseñado y deba recibir antes la totalidad de la carga.

La resistencia especificada (f'_c) dependerá de la experiencia y criterio del profesional calculista a cargo del diseño estructural, además dependerá del tipo de estructura que se desea conformar.

Cabe mencionar que para esta investigación el valor asignado para la resistencia especificada (f'_c) es de 40 MPa.

4.2 Análisis y cálculo de la resistencia requerida según el ACI 318-08.

La resistencia requerida aparece como un concepto complementario en el diseño de los hormigones, por la necesidad de asegurar la obtención de la resistencia especificada y se expresa en términos de cargas mayoradas o de las fuerzas y momentos internos correspondientes. Las cargas mayoradas son las cargas especificadas en el reglamento general de construcción multiplicadas por los factores de carga apropiadas, lo cual depende del diseño estructural que se utilice.

La resistencia requerida (f'_{cr}) está ligada de forma directa con la resistencia especificada (f'_c), para poder establecer esta relación es necesario realizar el análisis de ciertos

factores que conllevan a la determinación de la resistencia requerida según el código ACI 318S-08, los cuales se los detalla a continuación.

Desviación estándar de la muestra.

Cuando en una planta de fabricación de hormigón se tenga un registro apropiado de 30 ensayos consecutivos con materiales y condiciones similares a las esperadas, la desviación estándar debe determinarse de la siguiente manera:

$$S_s = \left[\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{(n - 1)} \right]^{1/2}$$

Donde:

S_s = desviación estándar de la muestra, Mpa.

x_i = ensayo individual de resistencia.

\bar{x} = Promedio de n resultados de ensayo de resistencia.

n = Número de ensayos consecutivos de resistencia.

Cuando se utilizan resultados menores a 30 ensayos, la desviación debe ser determinada mediante los promedios estadísticos de la siguiente manera:

$$\bar{S}_s = \left[\frac{(n_1 - 1)(S_{s1})^2 + (n_2 - 1)(S_{s2})^2}{(n_1 + n_2 - 2)} \right]^{1/2}$$

Donde:

\bar{S}_s = Promedio estadístico de la desviación estándar cuando se emplean dos registros de ensayos para calcular la desviación estándar de la muestra.

S_{s1}, S_{s2} = Desviación estándar de la muestra calculadas de dos registros de ensayos, 1 y 2, respectivamente.

n_1, n_2 = Número de ensayos en cada registro de ensayos, respectivamente.

Para nuestra investigación disponemos de menos de 30 ensayos, pero con un mínimo de 15, la desviación estándar deberá incrementarse con un factor indicado en la siguiente tabla:

Tabla 4.1 Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra cuando se dispone de menos de 30 ensayos.

Número de ensayos*	Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra [†]
Menos de 15	Emplee la tabla 5.3.2.2 (ACI 318-08)
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o más	1.00

* Interpolarse para un número de ensayos intermedios.

[†] Desviación estándar de la muestra modificada, S_s , para usar en la determinación de la resistencia promedio requerida f'_{cr} de 5.3.2.1 (ACI318-08).

Fuente: ACI318S-08, Capítulo 5, sección 5.3 p.71.

Resistencia promedio requerida.

La resistencia promedio a la compresión requerida f'_{cr} , es usada como base para la dosificación del hormigón, la cual es determinada una vez encontrada la desviación estándar.

Tabla 4.2 Resistencia promedio requerida a la compresión.

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, Mpa
$f'_c \leq 35$	Usar el mayor valor obtenido de las ecuaciones (5-1) y (5-2) $f'_{cr} = f'_c + 1.34S_s$ (5-1) $f'_{cr} = f'_c + 2.33S_s - 3.5$ (5-2)
$f'_c > 35$	Usar el mayor valor obtenido con las ecuaciones (5-1) y (5-3) $f'_{cr} = f'_c + 1.34S_s$ (5-1) $f'_{cr} = 0.90f'_c + 2.33S_s + 2.33S_s$ (5-3)

Fuente: ACI318S-08, Capítulo 5, sección 5.3 p.72.

Cuando la productora de hormigón no tenga registros de ensayos de resistencia en obra para el cálculo de la desviación estándar, debemos utilizar la siguiente tabla.

Tabla 4.3 Resistencia promedio a la compresión.

Resistencia especificada a la compresión, Mpa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.3$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.10f'_c + 5.0$

Fuente: ACI318S-08, Capítulo 5, sección 5.3.2.2 pág.72.

Para la investigación se aplicaran las ecuaciones de la sección 5.3.2.2 del código ACI, ya que no tenemos registros de ensayos para el cálculo de la desviación estándar y se desconocen las observaciones de Pifo, el único dato que nos orientará será la resistencia especificada (f'_c) la cual es mayor que 35 MPa. Por tanto la ecuación a ser utilizada será la siguiente:

$$f'_c > 35 \text{ MPa} \longrightarrow f'_{cr} = 1.10f'_c + 5.0$$

La obtención de la Resistencia requerida (f'_{cr}) nos servirá para el diseño del hormigón de alta resistencia.

4.3 Diseño de dosificación para mezclas de prueba en función de la resistencia requerida.

El diseño de la dosificación de la mezcla de hormigón tiene como puntos principales, el evaluar tanto el desempeño mecánico como es la resistencia y el económico para abaratar precios de producción, siendo así de importancia para la investigación, basándonos en experiencias de campo, elaboración de ensayos tomando como una guía inalterable los códigos para el desarrollo del diseño de mezclas.

Cabe recalcar que para hormigones de alta resistencia, se utilizará el código ACII 211-4r-08, en el que se indican los pasos a seguir estableciendo un procedimiento minucioso los cuales conllevaran a determinar la dosificación más apta para el correcto desempeño de la mezcla de hormigón.

4.4 Cálculos de resistencias requeridas.

El hormigón se fabrica con materiales que en general por su naturaleza, son inestables y cambiantes por sus procedencias, la arena, el ripio, el agua y en menos proporción el cemento, lo que conlleva a que la mezcla de todos estos componentes no puede ser matemáticamente igual entre una amasada y otra, por ello puede determinarse que el hormigón es un material estadísticamente variable.

Existen varios factores los cuales causan una disminución en la resistencia del mismo ya sea por una incorrecta manejabilidad del obrero, falta de curado, o el caso de métodos inadecuados de ensayo de probetas tal es el caso de no utilizar capping o no tener superficies regulares, estos y muchos factores más son problemas que se presentan luego de obtener una mezcla óptima físicamente de acuerdo a las especificaciones de la misma.

Es determinante decir que no se debe descuidar ninguna etapa de diseño y colocación de la mezcla, ya que de ellos dependerá la durabilidad y desempeño del elemento o estructura de hormigón.

Sin embargo si se tomarán las debidas precauciones tanto en la elaboración como en los ensayos, debe existir un grado de variación, pero deberán ser reducidos al mínimo. Por esta razón el propósito para abatir estos problemas es necesario fijar una “resistencia de diseño de la mezcla en laboratorio (f'_{cr}), la cuál será mayor que la resistencia especificada (f'_c), llegando así a cumplir ciertas falencias las que serán garantizadas con la obtención en obra de la resistencia requerida f'_{cr} .

Para la determinación de la resistencia requerida deben acogerse las ecuaciones propuestas por el ACI 318-08 y ACI 211.4R 98, en base a las cuales debe seleccionarse la que nos indique mejor resultado para el diseño.

➤ **Primera ecuación ACI 318-08.**

$$f'_{cr} = 1.10 f'_c + 5.0$$

E.C 1: Tabla 5.3.2.2 ACI318-08

Donde:

f'_c y f'_{cr} (MPa)

➤ **Segunda ecuación ACI 211.4R 98.**

$$f'_{cr} = \frac{f'_c + 1400}{0.90}$$

E.C 2: (2-3) ACI 211.4R 98

Donde:

f'_c (psi), para lo que debe convertirse a unidades manejables del sistema S.I igual que de la ecuación uno. La experiencia a demostrado que las resistencias obtenidas en condiciones ideales de campo alcanza el 90% de la resistencia bajo condiciones de laboratorio para lo cual es recomendable maximizar con 0.90 de la resistencia requerida, ya que muchos factores pueden influir en la variabilidad en la resistencia en el campo.

$$f'_{cr} = \frac{f'_c + 1400}{0.90} \longrightarrow 0.90 * f'_{cr} = \frac{f'_c + 1400}{0.90} \longrightarrow f'_{cr} = f'_c + 1400$$

$$f'_{cr} = f'_c + \frac{1400}{F_c}$$

$F_c = 145.04$ (Factor de transformación de unidades psi a MPa)

$$f'_{cr} = f'_c + \frac{1400}{145.04}$$

Donde se obtiene, $f'_{cr} = f'_c + 9.65$

$$f'_{cr} = f'_c + 9.65$$

E.C 2: (2-3) ACI211.4R 98

Como especifica la norma se debe seleccionar el valor mayor de las dos ecuaciones propuestas, siendo así la ecuación (2-3) que en la norma delimitada que da una fuerza mayor promedio requerido que el código ACI318 en la Tabla 5.3.2.2, de las cuales se demostrará a continuación.

✓ Resistencia especificada (f'_c): 40 MPa

Utilizaremos la ecuación 1 para el cálculo:

$$f'_{cr} = 1.10f'_c + 5.0 \quad \text{Ec. (1) ACI 318-08}$$

$$f'_{cr} = 1.10*(40) + 5.0$$

$$f'_{cr} = 49 \text{ MPa} = 7106.96 \text{ psi}$$

Utilizaremos la ecuación 2 para el cálculo:

$$f'_{cr} = f'_c + 9.65 \quad \text{Ec. (2) ACI 211.4R-98}$$

$$f'_{cr} = 40 + 9.65$$

$$f'_{cr} = 49.65 \text{ MPa} = 7201.236 \text{ psi}$$

Se observa que la variabilidad de la resistencia requerida propuesta por ambos códigos es realmente despreciable, por lo que tomando ambos criterios propuestos debe seleccionarse el valor mayor entre ambas deducciones, por lo tanto, para esta investigación, de acuerdo al ACI, $f'_{cr} = 49.65 \text{ MPa}$.

4.4.1 Método del volumen absoluto (En concordancia con Comités ACI 211-4R-08 y ACI363-2R-08).

De acuerdo a el comité ACI, el método del volumen absoluto se fundamenta en la selección de las cantidades de los componentes para elaboración del hormigón, determinando a la arena como variable, los componentes tomados en cuenta para el volumen a ser elaborado son agregado grueso, agua, cemento, contenido de aire total de la mezcla, los cuales deben estar en unidades volumétricas siendo así necesario utilizar la densidad de cada uno de los componentes. Al sumar todos los volúmenes de los elementos ya mencionados se obtiene un volumen parcial del cual debe ser restado la cantidad que especifica la norma ACI 211-4R-08 tomando como base de producción de volumen total de hormigón a 27 yd³ a ser fabricado.

El método propuesto por el comité 211.4 del ACI abarca el rango de resistencia entre 450 kg/cm² y 840 kg/cm², este método es aplicable a concretos de peso normal. Las consideraciones básicas de este método al igual que en el método para concretos convencionales es la determinación de la cantidad de los materiales requeridos para producir un concreto con las propiedades en estado fresco y endurecido deseadas y a un bajo costo. El procedimiento consiste en una serie de pasos, con los cuales se debe cumplir los requerimientos de resistencia y trabajabilidad deseados, el método recomienda elaborar varias pruebas en laboratorio y en el campo hasta encontrar la mezcla deseada.

4.5 Mezclas de prueba

Luego de realizar todos los ensayos, de agregados y cemento, se procede con las mezclas de prueba para la obtención de la resistencia requerida del valor de 55.17 MPa.

La adición de aditivos se hizo en función de la ficha técnica del material, mas no realizando ensayos del mismo, ya que en esta investigación no se desea determinar las propiedades e influencia del aditivo en la mezcla de hormigón, sino su desempeño para mejorar la trabajabilidad de la misma.

Para poder determinar que aditivo utilizar en las mezclas fue necesario realizarlo experimentalmente, lo cual produjo resultados muy determinantes entre ambos aditivos en cuanto a su influencia en la trabajabilidad y resistencia, los aditivos que se usaron en la investigación son de la casa comercial SiKa “SiKa Ment N-100” y de la casa comercial Basf “GLENIUM 3000 NS”.

El diseño de las mezclas de prueba es analizado basándonos en el código ACI 211-4R-08, en el que nos indica el procedimiento a seguir con ciertas variaciones para la obtención de hormigones de alta resistencia, tomando en cuenta que la dosificación deberá satisfacer las condiciones ambientales y adecuada proporción de los materiales para la elaboración del hormigón.

El procedimiento utilizado en la investigación se indicará a continuación, indicando previamente las propiedades físicas y mecánicas de los componentes necesarios para la determinación de la dosificación según el método ACI 211.4R-08.

❖ **Procedimiento de diseño:**

Paso 1:

Seleccionar el slump (asentamiento-caída) y la resistencia del concreto requeridos, valores recomendados para el slump se muestran en la tabla 4.4. A pesar que un concreto de alta resistencia es producido adecuadamente con la adición de un superplastificante sin una medida inicial del asentamiento, es recomendado un slump de 1 a 2” antes de adicionar el superplastificante. Esto asegurará una adecuada cantidad de agua para la mezcla y permitirá que el superplastificante sea efectivo.

Para un concreto elaborado sin superplastificante es recomendado un slump entre 2 a 4”, este puede ser escogido de acuerdo al trabajo a realizarse. Concretos con menos de 2” de slump son difíciles de consolidar dado el alto contenido de agregado grueso y materiales cementantes.

Paso 2:

Seleccionar el tamaño máximo del agregado, basados en los requerimientos de resistencia, el tamaño máximo del agregado grueso es dado en la tabla 4.5. El ACI 318

establece que el tamaño máximo del un agregado no debe exceder un quinta parte de la dimensión menor entre los lados del elemento, una tercera parte de la profundidad de la losa, o tres cuartas partes del mínimo espaciamiento entre las barras de refuerzo.

Paso 3:

Seleccionar el contenido óptimo de agregado grueso, el óptimo contenido de agregado grueso depende su resistencia característica y tamaño máximo. El contenido optimo recomendado de agregado grueso, expresado como una fracción del peso unitario compactado, es dado en la tabla 4.6. como una función del tamaño máximo nominal. El peso seco del agregado grueso por m³ de concreto puede ser calculado usando la siguiente ecuación:

$$\text{Peso seco del agregado grueso} = \%Psag * P.U.C \quad (4.1.)$$

En un proporcionamiento de una mezcla de concreto normal, el contenido optimo de agregado grueso es dado como una función del tamaño máximo y del modulo de fineza del agregado fino. Las mezclas de concretos de alta resistencia, sin embargo, tienen un alto contenido de materiales cementicios, y por lo tanto no son dependientes del agregado fino para lograr la lubricación y compactabilidad de la mezcla. Por supuesto los valores dados en la tabla 4.6. son recomendados para arenas que tienen un módulo de finura entre 2.5 a 3.2.

Paso 4:

Estimar el agua de mezcla y el contenido de aire, la cantidad de agua por unidad de volumen de concreto requerida para producir un slump dado es dependiente del tamaño máximo, forma de las partículas, gradación del agregado, cantidad de cemento y tipo de plastificante o superplastificante usados. Si se usa un superplastificante, el contenido de agua en este aditivo es tomado en cuenta para el cálculo de la relación agua/cemento: La tabla 4.7. da una primera estimación del agua de mezclado requerida para concretos elaborados con agregados de tamaño máximo entre 1” y 3/8”, esta cantidad de agua es estimada sin la adición del aditivo, en la misma tabla también se da los valores estimado

de aire atrapado. Estas cantidades de agua de mezclado son máximas para un agregado bien gradado, angular y limpio que cumple con los límites de la norma ASTM C 33. Dado que la forma de las partículas y la textura superficial del agregado fino puede influenciar significativamente su contenido de vacíos, el requerimiento de agua de mezclado puede ser diferente de los valores dados.

Los valores dados en la tabla 4.7. son aplicables cuando el agregado fino usado tiene un contenido de vacíos igual a 35%, el contenido de vacíos del agregado fino puede ser calculado usando la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de vacíos, } V(\%) = \left[1 - \frac{P.U.C}{\text{Peso específico}} \right] * 100 \quad (4.2.)$$

Cuando el contenido de vacíos del agregado fino no es 35%, es necesario un ajuste a la cantidad de agua de mezclado, este ajuste puede ser calculado usando la siguiente ecuación:

$$\text{Ajuste del agua de mezclado, } A \left(\frac{kg}{m^3} \right) = 4.72 * (V - 35) \quad (4.3.)$$

Usando la ecuación 4.3. obtenemos un ajuste de 4.72 kg/m³ por cada punto porcentual del contenido de vacíos de la arena.

Paso 5:

Seleccionar la relación agua/materiales cementantes $w/(c+p)$ de alta resistencia de mezclas de hormigón, en las tablas 4.8 (a) y 4.8 (b), valores máximos recomendados para la relación agua/materiales cementantes son mostrados como un función del tamaño máximo del agregado para alcanzar diferentes resistencias a compresión en 28 o 56 días. Los valores dados en la tabla 4.8(a) son para concretos elaborados sin superplastificantes y los dados en la tabla 4.8(b) para concretos con superplastificante.

La relación agua/materiales cementantes puede limitarse por requerimientos de durabilidad. Cuando el contenido de material cementante excede los 450 kg, se debe considerar el uso de un material cementante alternativo.

Paso 6:

Calculo del contenido de material cementante, el peso del material cementante requerido por m³ de concreto puede ser determinado por la división de la cantidad de agua de mezclado entre la relación a/m.c.(material cementante) seleccionada. Sin embargo si las especificaciones incluyen un límite mínimo en la cantidad de material cementante por m³, este debe ser cumplido.

Paso 7:

Proporcionamiento de la mezcla de prueba base, para determinar las proporciones óptimas primero se debe realizar una mezcla base, los siguientes pasos deben ser seguidos para completar la mezcla:

1. Contenido de cemento.- Para esta mezcla, el peso del cemento será igual al calculado en el paso 6.
2. Contenido de arena.- Después de determinar los pesos por m³ de agregado grueso, cemento, agua, y contenido de aire atrapado, el contenido de arena puede ser calculado usando el método de volúmenes absolutos.

Paso 8:

Proporcionamiento de mezclas usando fly ash (cenizas volantes), este método incluye el uso de fly ash como adición al hormigón de alta resistencia, la adición de este reducirá la demanda de agua, reduce la temperatura, y reduce el costo. Este paso se describe la manera de adicionar al hormigón este material y los pasos para su proporcionamiento, recomendando al menos dos pruebas con diferentes contenidos de este material, en el presente documento no se realiza un detalle más preciso del tema, puesto que no fue necesaria la adición de este material para la presente investigación.

Paso 9:

Mezclas de prueba, para cada mezcla el proporcionamiento se hará siguiendo los pasos del 1 al 8, una mezcla de prueba debe ser producida determinando su trabajabilidad y características de resistencia.

Paso 10:

Ajuste de las proporciones de la mezcla, si las propiedades deseadas del concreto no han sido obtenidas en las mezclas de prueba, las proporciones de la mezcla base deben ser modificadas siguiendo el procedimiento siguiente:

1. Slump inicial.- Si el slump inicial no se encuentra en los rangos deseados, el agua de mezclado debe ser ajustada, el contenido de cemento debe ser corregido para mantener constante la relación a/m.c.(material cementante), y el contenido de arena debe ser ajustado para asegurar el flujo del concreto.
2. Dosis de superplastificante.- Si un superplastificante es usado, debe ser determinado su efecto en la trabajabilidad y resistencia. Se debe seguir las indicaciones dadas por el fabricante en cuanto a su tasa máxima de uso. El uso en laboratorio de superplastificantes debe ser ajustado para su uso en campo.
3. Contenido de agregado grueso.- Una vez que las mezcla de prueba de concreto han sido ajustadas para el slump deseado, se debe determinar si la mezcla es demasiado áspera. Si es necesario el contenido de agregado grueso puede ser reducido y el contenido de arena ajustado. Sin embargo este incremento del contenido de arena incrementara la demanda de agua, y por lo tanto el contenido de cemento.
4. Contenido de aire.- Si el contenido de aire difiere significativamente de las proporciones deseadas, el contenido de arena puede ser ajustado.
5. Relación a/m.c.- Si la resistencia requerida no es alcanzada, mezclas adicionales con una menor relación a/m.c. deben ser elaboradas.

Paso 11:

Selección de la mezcla optima, una vez que las proporciones de mezcla han sido ajustadas para producir la trabajabilidad y resistencia deseadas, es necesario realizar pruebas en las condiciones de campo de acuerdo a los procedimientos recomendados por el ACI 211.1.

❖ **Tablas para el diseño:**

Tabla 4.4. Asentamiento recomendado para hormigones de Alta Resistencia con y sin superplastificante.

Hormigón elaborado con superplastificante	
Asentamiento antes de agregar Sp.	1" - 2"
Hormigón elaborado sin superplastificante	
Asentamiento	2" - 4"

Tabla 4.5. Tamaño máximo del agregado grueso

Resistencia requerida del hormigón (kg/cm²)	Tamaño máximo del agregado grueso
< 630	3/4" - 1"
> 630	3/8" - 1/2"

Tabla 4.6. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón (para agregado fino con módulo de finura entre 2.5 a 3.2)

Tamaño nominal máximo	3/8"	1/2 "	3/4"	1 "
Fracción volumétrica Ps.ag	0.65	0.68	0.72	0.75

Tabla 4.7. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire del hormigón basado en el uso de una arena con 35% de vacíos.

Asentamiento pulgadas	Agua de mezclado en kg/m³ para los tamaños maximos de agregados gruesos indicados.			
	3/8"	1/2 "	3/4"	1 "
1" - 2"	183	174	168	165
2" - 3"	189	183	174	171
3" - 4"	195	189	180	177
Aire Atrapado				
Sin superplastificante	3.0	2.5	2.0	1.5
Con superplastificante	2.5	2.0	1.5	1.0

Tabla 4.8.(a) Relación Agua/Materiales cementantes para concretos sin superplastificante.

Resistencia promedio f'_{cr} *		Edad (días)	Relación a/m.c. para los tamaños máximos de agregados gruesos indicados.			
psi	Kg/cm ²		3/8"	1/2"	3/4"	1"
7000	492.33	28	0.42	0.41	0.40	0.39
8000	562.67	28	0.35	0.34	0.33	0.33
9000	633.00	28	0.30	0.29	0.29	0.28
10000	703.33	28	0.26	0.26	0.25	0.25

* La resistencia promedio deberá ser reajustada para usar esta tabla con un valor de 0.90

Tabla 4.8.(b) Relación Agua/Materiales cementantes para concretos con superplastificante.

Resistencia promedio f'_{cr} *		Edad (días)	Relación a/m.c. para los tamaños máximos de agregados gruesos indicados.			
psi	Kg/cm ²		3/8"	1/2"	3/4"	1"
7000	492.33	28	0.42	0.41	0.40	0.39
8000	562.67	28	0.35	0.34	0.33	0.33
9000	633.00	28	0.30	0.29	0.29	0.28
10000	703.33	28	0.26	0.26	0.25	0.25
11000	773.67	28	0.30	0.29	0.29	0.28
12000	844.00	28	0.26	0.26	0.25	0.25

* La resistencia promedio deberá ser reajustada para usar esta tabla con un valor de 0.90

Fuente: Código ACI 211.4R, Diseño de dosificación de mezclas.

Ejemplo de cálculo de dosificación:

El propósito de este ejemplo ilustrativo es indicar como es el manejo de los datos obtenidos con los ensayos de laboratorio conjuntamente con las tablas y procedimiento indicado en la norma ACI 211-4R, para con ello determinar la dosificación mas optima y adecuada para un hormigón con una resistencia especificada de 40 Mpa utilizando materiales del sector de Pifo.

Los resultados de los ensayos de laboratorio de los componentes de la mezcla son los siguientes, los cuales son necesarios para determinar la dosificación.

Tabla 4.9. Resumen de resultados de las propiedades de los componentes de Hormigón

ARENA		
Densidad superficie saturada seca	2.52	gr/cm ³
Densidad aparente compactada	1.44	gr/cm ³
Porcentaje de Absorción	2.29	%
Porcentaje de Humedad	0.06	%
Modulo de Finura	2.65	
RIPIO		
Densidad superficie saturada seca	2.41	gr/cm ³
Densidad aparente compactada	1.31	gr/cm ³
Porcentaje de Absorción	2.63	%
Porcentaje de Humedad	0.1	%
Modulo de Finura	5.95	
CEMENTO		
Densidad Real del cemento	3.03	gr/cm ³

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014

El tamaño máximo nominal del agregado grueso fue determinado como ½”.

1. Selección del asentamiento (slump) y resistencia requerida:

Dado que se utilizará un superplastificante escogemos un asentamiento (slump) de 1” – 2” (Tabla 4.4.), y por la no existencia de registro de pruebas anteriores calculamos la resistencia requerida promedio del concreto a los 28 días.

$$f'_{cr} = \frac{f'_c + 1400}{0.90} \text{ (psi)}$$

$$f'_{cr} = \frac{f'_c + 98}{0.90} \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

$$f'_{cr} = \frac{407.88 + 98}{0.90} = 562.08$$

$$f'_{cr} = 562.08 \text{ (Kg/cm}^2\text{)} = 55.121 \text{ MPa}$$

2. Selección del tamaño máximo del agregado:

Usamos los datos de la **Tabla 4.5.**, nos sugiere usar para una resistencia menor a 630 Kg/cm² (9000 psi), un agregado de tamaño nominal entre ¾" y 1". De lo cual nosotros tomamos la decisión de seleccionar el tamaño máximo de agregado en función de los ensayos realizados en laboratorio, por tanto el tamaño a seleccionarse es ½".

3. Selección del contenido óptimo de agregado grueso:

De la **Tabla 4.6.** Obtenemos el volumen de agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de hormigón= 0.68 yd³, determinado en función del tamaño máximo nominal del agregado seleccionado en el paso 2., calculamos el peso seco del agregado grueso/m³ de hormigón:

$$W_{\text{seco}} = (\% \text{ Vol.}) * (\text{Peso seco compactado})$$

$$\delta_{\text{ap.comp}} = \text{Peso seco compactado} = 1.31 \text{ gr/cm}^3 \times \text{Factor conversión (gr/cm}^3 \text{ a lb/ft}^3\text{)}$$

$$W_{\text{seco}} = 0.68 \text{ yd}^3 \times [(1.31 * 62.43) \text{ lb/ft}^3]$$

$$W_{\text{seco}} = (0.68 * 27) \text{ ft}^3 \times (81.78) \text{ lb/ft}^3$$

$$W_{\text{seco}} = 1501.48 \text{ lb.}$$

4. Estimación del agua de mezclado y contenido de aire:

De la **Tabla 4.7.**, la primera estimación del agua de mezclado requerida es de 295 lb/yd³ de hormigón y el contenido de aire es de 2%. Calculamos el contenido de arena:

$$V(\%) = \left[1 - \frac{P.U.C}{Peso\ específico} \right] * 100$$

$$V(\%) = \left[1 - \frac{1.44}{2.52} \right] * 100$$

$$V(\%) = 42.86\% \quad \therefore \quad \%vacíos > 35\% \rightarrow necesita reajuste.$$

Ajustamos el agua de mezclado:

$$\text{Mezcla de agua Ajustada} = 8 \text{ lb/yd}^3 \times (\%V - 35\%)$$

$$\text{Mezcla de agua Ajustada} = 8 \text{ lb/yd}^3 \times (42.86\% - 35\%)$$

$$\text{Mezcla de agua Ajustada} = 62.88 \text{ lb/yd}^3$$

Entonces el agua de mezclado será:

$$W = 295 + 62.88 = 357.88 \text{ lb/yd}^3$$

5. Selección de la relación agua/material cementante (a/m.c.):

De la **Tabla 4.8. (a)**, obtenemos el valor de la relación a/m.c., la resistencia promedio debe ser ajustada previamente para utilizar las tablas 4.8. (a) y 4.8. (b).

Resistencia promedio sin ajuste:

$$f'_{cr} = \frac{f'_c + 1400}{0.90} = \frac{5801.6 + 1400}{0.90} \quad (\text{psi})$$

$$f'_{cr} = 8001.78 \text{ psi}$$

Resistencia promedio con ajuste (para poder entrar en **Tabla 4.8 (a)** y **4.8 (b)**):

$$0.90 * f'_{cr} = f'_c + 1400$$

$$f'_{cr} = 0.90 * 8001.78$$

$$f'_{cr} = 7201.6 \text{ psi}$$

Obtenemos de la **4.8. (a)** para agregado de ½”:

Relación a/m.c.= 0.34 por interpolación

6. Cálculo del contenido de materiales cementantes:

Conocemos el contenido de agua= 357.88 lb/yd³

$$\text{m.c.} = 357.88 / 0.34 = 1052.59 \text{ lb.}$$

7. Proporciones básicas para mezcla solo con cemento:

Las proporciones de todos los materiales por ft³ (volumen real):

$$\text{Cemento} = 1052.59 \text{ lb} / (3.03 \text{ gr/cm}^3 * 62.43 \text{ lb/ft}^3) = 5.56 \text{ ft}^3$$

$$\text{Ag. Grueso} = 1501.48 \text{ lb} / (2.41 \text{ gr/cm}^3 * 62.43 \text{ lb/ft}^3) = 9.98 \text{ ft}^3$$

$$\text{Agua} = 357.88 \text{ lb} / (1.00 \text{ gr/cm}^3 * 62.43 \text{ lb/ft}^3) = 5.73 \text{ ft}^3$$

$$\text{Aire} = 0.02 \text{ lb/yd}^3 * 27 \text{ ft}^3 = 0.54 \text{ ft}^3$$

$$\text{Subtotal} = 21.81 \text{ ft}^3$$

$$\text{Ag. Fino} = 27 \text{ ft}^3 - 21.81 \text{ ft}^3 = 5.19 \text{ ft}^3$$

La cantidad de agregado fino por m³ será:

$$\text{Ag. Fino} = 5.19 \text{ ft}^3 * (2.52 \text{ gr/cm}^3 * 62.43 \text{ lb/ft}^3) = 816.51 \text{ lb}$$

Las proporciones de mezcla en peso (lb) serán:

Cemento	= 1052.59 lb
Ag. Grueso	= 1501.48 lb
Ag. Fino	= 816.51 lb
Agua	= 357.88 lb
Total	= 3728.46 lb

Dosificación:

AGUA	0.34
CEMENTO	1.00
ARENA	0.78
RIPIO	1.43

8. Proporcionamiento de mezcla usando cemento y ceniza volante:

Este paso no se desarrollará dado que no se utilizó ningún tipo de ceniza volátil en la presente investigación.

9. Mezclas de prueba:

Una vez obtenida la dosificación, las cantidades de material dependerán del volumen a fabricarse en función de la dosificación encontrada en el paso 7, las probetas a ser utilizadas en el laboratorio serán de dimensiones 10.2 x 20.0 cm, para lo cual debemos tomar experiencias anteriores y una base de cálculo imponiendo la cantidad de ripio de 2Kg y como es necesario doce probetas se requiere de 24 kg para la muestra, de lo que se obtiene la siguiente dosificación:

# CILIND. DE PRUEB. :	12	#
-----------------------	-----------	---

RIPIO IMPUESTO :	24.00	Kg
------------------	-------	----

MATERIAL	M. DE PRUEBA	DOSIFICAC.
AGUA	5.71	0.34
CEMENTO	16.78	1.00
ARENA	13.09	0.78
RIPIO	24.00	1.43

Cálculo tipo - Cemento: $1.00 \cdot (24.00 \text{ kg} / 1.43) = 16.78 \text{ kg}$

10. Ajuste por el contenido de agua de los agregados:

Contenido de humedad del agregado grueso = 0.10%

Contenido de humedad del agregado fino = 0.06%

Corregimos el contenido de agregado considerando su contenido de humedad, para la mezcla con solo cemento tendremos:

Ag. Grueso corregido $= 24 (1+0.001) = 24.024 \text{ Kg}$

Ag. Fino corregido $= 13.09 (1+0.0006) = 13.097 \text{ Kg}$

Corregimos el agua de mezclado tomando en cuenta la absorción de los agregados:

Agua de mezclado corregida $= 5.71 - 13.09 (0.0006-0.0229) - 24 (0.001-0.0263)$

Agua de mezclado corregida = 6.59 Kg

Por tanto la dosificación al peso final obtenida es:

MATERIAL	M. DE PRUEBA	DOSIFICACION
AGUA	6.59	0.39
CEMENTO	16.78	1.00
ARENA	12.81	0.76
RIPIO	23.41	1.39

En la investigación se han realizado varias pruebas de mezcla para determinar la dosificación de mejor resultado en su desempeño mecánico y económico.

La variación entre cada una de las mezclas de prueba se fundamentó en el porcentaje del aditivo utilizado (GLENIUM 3000NS), según la especificación del fabricante entre el 0.40% y 0.80% del peso del cemento, de lo cual se determinó en función del asentamiento deseado para la investigación.

4.5.1 Mezcla de hormigón convencional (Patrón)

Las mezclas de hormigón convencional son utilizadas como parámetro para determinación del desempeño de la mezcla y sus componentes sin la adición de ningún tipo de aditivo mineral o químico, tan solo la utilización de áridos finos, áridos gruesos, agua y cemento con la dosificación de diseño óptima para la resistencia especificada.

Para nuestra investigación se realizaron tres tipos de dosificaciones de muestras patrón, las cuales tendrán su variación en la relación agua/cemento $[w/(c+p)]$, influenciando directamente en la resistencia y desempeño de cada mezcla patrón realizada.

Cabe recalcar que la investigación se la realizó de forma grupal entre tres tipos distintos de resistencia requerida (f'_{cr}), para lo cual fue necesario utilizar la mayor resistencia entre las tres, para determinar cuál sería la resistencia máxima obtenida en estas condiciones de muestra patrón y en función de ello realizar modificaciones para las demás resistencias especificadas.

Las tres mezclas patrón que se utilizaron para determinar el comportamiento del hormigón sin utilizar ningún tipo de aditivo son las siguientes:

- Primera mezcla patrón: relación $w/(c+p) = 0.31$ "Calculada"
- Segunda mezcla patrón: relación $w/(c+p) = 0.30$ "Reduciendo relación"
- Tercera mezcla patrón: relación $w/(c+p) = 0.32$ "Aumentando relación"

La variación de la relación $w/(c+p)$ se la realizó para determinar cuál es el cambio que se produce en la resistencia mecánica y características físicas entre las tres mezclas, para

según los resultados obtenidos, poder conocer el aumento o disminución de la resistencia influenciado por la inclusión de aditivos químicos o minerales.

Para determinar las cantidades de cada componente, es necesario partir desde las propiedades de los elementos del hormigón.

Tabla 4.10. Resumen de las propiedades de los componentes para fabricar hormigón

PROPIEDADES		
ARENA		
Densidad superficie saturada seca	2.52	gr/cm ³
Densidad aparente compactada	1.44	gr/cm ³
Porcentaje de Absorción	2.29	%
Porcentaje de Humedad	0.06	%
Modulo de Finura	2.65	
RIPIO		
Densidad superficie saturada seca	2.41	gr/cm ³
Densidad aparente compactada	1.31	gr/cm ³
Porcentaje de Absorción	2.63	%
Porcentaje de Humedad	0.1	%
Modulo de Finura	6.35	
CEMENTO		
Densidad Real del cemento	3.03	gr/cm ³

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014

➤ **PRIMERA MEZCLA PATRÓN:** Relación $w/(c+p) = 0.31$ "Calculada"

Es necesario realizar un ejemplo de los cálculos típicos que se utilizaran para cada una de las mezclas, lo cual se explicará detalladamente en única y exclusivamente la primera opción:

Datos:**PROPIEDADES DE LOS MATERIALES**

MATERIAL	D _{ss}	δ ap.c.	% de Abs.	% de Hum.
Unidad	g/cm ³	g/cm ³	%	%
Arena	2.52	1.44	2.29	0.06
Ripio	2.41	1.31	2.63	0.10

CEMENTO	3.03 gr/cm ³
---------	-------------------------

RESISTENCIA DEL HORMIGÓN A DISEÑAR:Resistencia Especificada (f'_c):

MPa

44.00Resistencia Requerida (f'_{cr}):

Ecuación 1		Ecuación 2	
MPa	psi	MPa	psi
53.40	7745.14	59.61	8646.40
$f'_{cr} = 1.10 f'_c + 5.0$		$f'_{cr} = \frac{f'_c + 9.65}{0.90}$	
ACI 318-08		ACI 211.4R	

A. Selección del asentamiento

Hormigón elaborado con superplastificante		
Asentamiento antes de agregar Sp. (cm)	2.54	5.08
Hormigón elaborado sin superplastificante		
Asentamiento (cm)	5.08	10.16

Asentamiento seleccionado	2.54 cm
---------------------------	---------

B. Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso

Resistencia requerida del hormigón		Tamaño máximo del agregado grueso		
psi	MPa	mm		mm
< 9000	< 62.05	19.05	a	25.40
> 9000	> 62.05	9.52	a	12.70

T.N.M seleccionado	12.70 mm
--------------------	----------

C. Volumen recomendado del agregado grueso

Contenido de agregado grueso para el T.N.M seleccionado, con arena de MF (2.5 a 3.2)				
Tamaño nominal máximo (mm)	9.52	12.70	19.05	25.40
Volumen fraccional de ripio	0.65	0.68	0.72	0.75

Factor Árido Grueso	0.68 m3
---------------------	---------

Peso del Árido Grueso = (Factor Árido Grueso x δ ap.comp)x1000

δ ap.comp =	1.31 gr/cm3
--------------------	-------------

FACTOR CONVERSION =	1000	g/cm ³ a kg/m ³
---------------------	------	---------------------------------------

Peso del Árido Grueso = (0.68 x 1.31)x1000 = 890.80 m3

D. Contenido de aire y determinación del agua de mezcla

$$PORCENTAJE \text{ DE VACIOS } (\%) = \left(1 - \frac{\rho_{ap.arena}}{D_{ss} \rho_{arena}} \right) \times 100$$

$$PORCENTAJE \text{ DE VACIOS } (\%) = \left(1 - \frac{1.44}{2.52} \right) \times 100 = 42.86 \%$$

El contenido de aire es mayor a 35 %, se debe realizar el ajuste.

$$\text{Mezcla de agua ajustada} = (\%V - 35) \times \text{Factor de Agua}$$

Factor Agua (Variación)	
%	F.Agua (kg/m ³)
0	0
35	4.76
70	9.51

$$\text{Mezcla de agua ajustada} = (42.86 - 35) \times 4.76 = 37.41 \text{ Kg/m}^3$$

E. Selección de agua de mezclado y aire atrapado

Asentamiento cm		Agua de mezclado en kg/m ³ para los tamaños			
		T.N.M - AGREGADO (mm)			
		9.52	12.70	19.05	25.40
2.54	5.08	184.30	175.38	169.44	166.47
5.08	7.62	190.25	184.30	175.38	172.41
7.62	10.16	196.19	190.25	181.33	178.36
Aire Atrapado					
Sin superplastificante < 35%		3.0 %	2.5 %	2.0 %	1.5 %
Con superplastificante > 35%		2.5 %	2.0 %	1.5 %	1.0 %

$$\text{Mezcla de Agua} = 175.38 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Total de agua} = \text{Mezcla de Agua} + \text{Mezcla de agua ajustada}$$

$$\text{Total de Agua} = 212.79 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Mezcla de Agua} = 175.38 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Total de agua} = \text{Mezcla de Agua} + \text{Mezcla de agua ajustada}$$

$$\text{Total de Agua} = 212.79 \text{ Kg/m}^3$$

F. Selección de la relación w/ (c+p) (relación agua/material cementante)

$$f'_{cr} = (f'_c + 9.65)/0.90 = \mathbf{59.61 \text{ MPa}}$$

Resistencia promedio f'_{cr} *		Edad (días)	Relación w/(c+p). para los T.M.N de agregados gruesos indicados.			
psi	MPa		9.52	12.70	19.05	25.40
7000	48.28	28	0.42	0.41	0.40	0.39
8000	55.18	28	0.35	0.34	0.33	0.33
9000	62.08	28	0.30	0.29	0.29	0.28
10000	68.97	28	0.26	0.26	0.25	0.25

Se interpola para la resistencia requerida calculada

$$\text{RELACIÓN } w/(c+p) = \mathbf{0.31}$$

G. Cantidad de cemento para la mezcla

$$\text{CEMENTO} = \frac{\text{Total Agua}}{w/(c+p)}$$

$$\text{CEMENTO} = \frac{212.79}{0.31} = 686.42 \text{ kg}$$

H. Cantidades de los materiales para 1 m³ de Hormigón.

MATERIALES PARA 1 M ³		
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
CEMENTO	686.42	kg
RIPIO	890.80	kg
AGUA	212.79	kg

Tabla 4.11. Cantidades base para el diseño de las mezclas de Patrón

DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN		
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
CEMENTO	0.23	m ³
RIPIO	0.37	m ³
AGUA	0.21	m ³
AIRE	0.02	m ³
VOL.TOTAL	0.83	m ³
ARENA	0.17	m ³

La cantidad de arena es igual a: $1 \text{ m}^3 - \text{Vol. Total} = 1 - 0.83 = 0.17 \text{ m}^3$

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014

Tabla 4.12. Cantidades para 1 m³, Mezcla Patrón

DOSIFICACIÓN AL PESO			DOSIFICACIÓN
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	
CEMENTO	686.42	kg	1.00
RIPIO	890.80	kg	1.30
AGUA	212.79	kg	0.31
ARENA	431.03	kg	0.63

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014

I. PREPARACIÓN DE PROBETAS CILINDRICAS PARA LA DOSIFICACIÓN OBTENIDA.

En función de la **Tabla 4.12.**, se determinaran las cantidades necesarias de cada material para fabricar doce probetas.

CANTIDADES PARA LA MEZCLA PATRÓN:

# CILIND. DE PRUEB. :	12	#
-----------------------	-----------	---

RIPIO IMPUESTO :	24.00	Kg
------------------	-------	----

MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	DOSIFICACIÓN
CEMENTO	18.49	kg	1.00
RIPIO	24.00	kg	1.30
AGUA	5.73	kg	0.31
ARENA	11.61	kg	0.63

Cálculo tipo de la obtención de cantidades:

$$AGUA = 0.31 \times \frac{24}{1.30} = 5.73 \text{ kg}$$

$$ARENA = 0.63 \times \frac{24}{1.30} = 11.61 \text{ kg}$$

- J. Una vez obtenidas las cantidades de material para el número de probetas indicado, se debe realizar la corrección por humedad de los agregados.

CORRECCION POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS:

DATOS:

MATERIAL	% de Abs.	% de Hum.
Unidad	%	%
Arena	2.29	0.06
Ripio	2.63	0.10

$$AGUA = W_{ARENA} * \left(\frac{\% \text{ de Hum.} - \% \text{ de Absor.}}{100 + \% \text{ de Absor.}} \right)$$

$$AGUA = 12.97 * \left(\frac{0.06 - 2.29}{100 + 2.29} \right)$$

AGUA=	-0.25 Kg
-------	----------

$$RIPIO = W_{RIPIO} * \left(\frac{100 + \% \text{ de Hum.}}{100 + \% \text{ de Absor.}} \right)$$

$$RIPIO = 24.00 * \left(\frac{100 + 0.10}{100 + 2.63} \right)$$

RIPIO=	23.4 Kg
--------	---------

$$AGUA = W_{RIPIO} * \left(\frac{\% \text{ de Hum.} - \% \text{ de Absor.}}{100 + \% \text{ de Absor.}} \right)$$

$$AGUA = 24.00 * \left(\frac{0.10 - 2.63}{100 + 2.63} \right)$$

AGUA=	-0.59 Kg
-------	----------

$$AGUA \text{ DE CORRECCIÓN} = AGUA_{ARENA} + AGUA_{RIPIO}$$

CORRECCIÓN=	0.84 Kg
-------------	---------

K. Cantidades de materiales corregidos por contenido de humedad

MATERIAL	CANTIDAD	DOSIFICACIÓN
AGUA	6.58 Kg	0.36
CEMENTO	18.49 Kg	1.00
ARENA	11.36 Kg	0.61
RIPIO	23.41 Kg	1.27

L. Cantidades Totales de material al Peso y Dosificación

Cantidades Totales de material:

MATERIAL	CANTIDAD	DOSIFICACIÓN
AGUA	6.58 Kg	0.36
CEMENTO	18.49 Kg	1.00
ARENA	11.36 Kg	0.61
RIPIO	23.41 Kg	1.27

Tabla 4.13. Cantidades Totales de materiales para mezcla de Patrón.

Resumen de Materiales a utilizar en la Mezcla de Patrón

UNIDAD	MATERIAL	CANTIDAD	DOSIFICACIÓN
lt	AGUA	6.58	0.36
kg	CEMENTO	18.49	1.00
kg	ARENA	11.36	0.61
kg	RIPIO	23.41	1.27

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014

MEZCLA PATRÓN CALCULADA

**CEMENTO ARMADURO ESPECIAL (LAFARGE) UTILIZANDO
AGREGADOS DE PIFO.**

$f_c =$ 44.0 MPa
 $f_{cr} =$ 59.61 MPa

Nº DE MUESTRAS : 12

UNIDAD	MATERIAL	CANTIDAD	TOTAL
lt	AGUA	6.58	0.36
kg	CEMENTO	18.49	18.49
kg	ARENA	11.36	11.36
kg	RIPIO	23.41	23.41

- **SEGUNDA MEZCLA PATRÓN:** Relación $w/(c+p) = 0.30$ "Reduciendo relación"

Para la siguiente mezcla de prueba, la variación se realiza en la relación agua cemento $w/(c+p)$, pero reduciéndola en función de la calculada.

Por consiguiente, a continuación se expresan los valores obtenidos de las cantidades de mezcla omitiendo los procedimientos de cálculo ya que fueron explicados con anterioridad.

Se partirá de las cantidades calculadas para 1 m^3 de Hormigón.

MATERIALES PARA 1 m^3		
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
CEMENTO	709.30	kg
RIPIO	890.80	kg
AGUA	212.79	kg

A. Dosificación al volumen

DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN		
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
CEMENTO	0.23	m^3
RIPIO	0.37	m^3
AGUA	0.21	m^3
AIRE	0.02	m^3
VOL.TOTAL	0.84	m^3
ARENA	0.16	m^3

La cantidad de arena es igual a: $1 \text{ m}^3 - \text{Vol. Total} = 1 - 0.84 = 0.16 \text{ m}^3$

B. Dosificación al Peso

DOSIFICACIÓN AL PESO			DOSIFICACIÓN
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	
CEMENTO	709.30	kg	1.00
RIPIO	890.80	kg	1.26
AGUA	212.79	kg	0.30
ARENA	412.00	kg	0.58

C. Cantidades para la Mezcla de prueba

CANTIDADES PARA LA MEZCLA DE PATRÓN:

# CILIND. DE PRUEB. :	12	#
-----------------------	-----------	---

RIPIO IMPUESTO :	24.00	Kg
------------------	-------	----

MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	DOSIFICACIÓN
CEMENTO	19.11	kg	1.00
RIPIO	24.00	kg	1.26
AGUA	5.73	kg	0.30
ARENA	11.10	kg	0.58

D. Cantidades con corrección de humedad

MATERIAL	CANTIDAD	DOSIFICACIÓN
AGUA	6.57 Kg	0.34
CEMENTO	19.11 Kg	1.00
ARENA	10.86 Kg	0.57
RIPIO	23.41 Kg	1.22

E. Cantidades Totales de material al Peso y Dosificación.

Cantidades Totales de material:

MATERIAL	CANTIDAD	DOSIFICACIÓN
AGUA	6.57 Kg	0.34
CEMENTO	19.11 Kg	1.00
ARENA	10.86 Kg	0.57
RIPIO	23.41 Kg	1.22

Tabla 4.14. Cantidades Totales de materiales para segunda mezcla Patrón.

Resumen de Materiales a utilizar en la Segunda Mezcla de Patrón

UNIDAD	MATERIAL	CANTIDAD	DOSIFICACIÓN
lt	AGUA	6.57	0.34
kg	CEMENTO	19.11	1.00
kg	ARENA	10.86	0.57
kg	RIPIO	23.41	1.22

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014

MEZCLA PATRÓN REDUCIENDO RELACION W/(C+P)

**CEMENTO ARMADURO ESPECIAL (LAFARGE) UTILIZANDO
AGREGADOS DE PIFO.**

$f_c =$ 44.0 MPa
 $f_{cr} =$ 59.61 MPa

Nº DE MUESTRAS : 12

UNIDAD	MATERIAL	CANTIDAD	TOTAL
lt	AGUA	6.57	0.34
kg	CEMENTO	19.11	1.00
kg	ARENA	10.86	0.57
kg	RIPIO	23.41	1.22

- **TERCERA MEZCLA PATRÓN:** Relación $w/(c+p) = 0.32$ "Aumentando relación"

Para la siguiente mezcla de prueba, la variación se realiza en la relación agua cemento $w/(c+p)$, pero aumentándola en función de la calculada.

Se partirá de las cantidades calculadas para 1 m^3 de Hormigón.

MATERIALES PARA 1 M^3		
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
CEMENTO	664.97	kg
RIPIO	890.80	kg
AGUA	212.79	kg

A. Dosificación al volumen

DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN		
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
CEMENTO	0.22	m^3
RIPIO	0.37	m^3
AGUA	0.21	m^3
AIRE	0.02	m^3
VOL.TOTAL	0.82	m^3
ARENA	0.18	m^3

La cantidad de arena es igual a: $1 \text{ m}^3 - \text{Vol. Total} = 1 - 0.81 = 0.18 \text{ m}^3$

B. Dosificación al Peso

DOSIFICACIÓN AL PESO			DOSIFICACIÓN
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	
CEMENTO	664.97	kg	1.00
RIPIO	890.80	kg	1.34
AGUA	212.79	kg	0.32
ARENA	448.87	kg	0.68

C. Cantidades para la Mezcla de prueba

CANTIDADES PARA LA MEZCLA DE PRUEBA:

# CILIND. DE PRUEB. :	12	#
-----------------------	-----------	---

RIPIO IMPUESTO :	24.00	Kg
------------------	-------	----

MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	DOSIFICACIÓN
CEMENTO	17.92	kg	1.00
RIPIO	24.00	kg	1.34
AGUA	5.73	kg	0.32
ARENA	12.09	kg	0.68

D. Cantidades con corrección de humedad

MATERIAL	CANTIDAD	DOSIFICACIÓN
AGUA	6.59 Kg	0.37
CEMENTO	17.92 Kg	1.00
ARENA	11.83 Kg	0.66
RIPIO	23.41 Kg	1.31

E. Cantidades Totales de material al Peso y Dosificación.

MATERIAL	CANTIDAD	DOSIFICACIÓN
AGUA	6.59 Kg	0.37
CEMENTO	17.92 Kg	1.00
ARENA	11.83 Kg	0.66
RIPIO	23.41 Kg	1.31

Tabla 4.15. Cantidades Totales de materiales para tercera mezcla Patrón

Resumen de Materiales a utilizar en la Tercera Mezcla de Patrón

UNIDAD	MATERIAL	CANTIDAD	DOSIFICACIÓN
lt	AGUA	6.59	0.37
kg	CEMENTO	17.92	1.00
kg	ARENA	11.83	0.66
kg	RIPIO	23.41	1.31

Fuente: RODRIGUEZ Santiago, 2014

MEZCLA PATRÓN AUMENTANDO RELACIÓN W/(C+P)

CEMENTO ARMADURO ESPECIAL (LAFARGE), UTILIZANDO AGREGADOS DE PIFO.

$f_c = 44.0 \text{ MPa}$
 $f_{cr} = 59.61 \text{ MPa}$

Nº DE MUESTRAS : 12

UNIDAD	MATERIAL	CANTIDAD	TOTAL
lt	AGUA	6.59	0.37
kg	CEMENTO	17.92	1.00
kg	ARENA	11.83	0.66
kg	RIPIO	23.41	1.31

4.5.2 Mezcla de hormigón convencional + Variación de porcentaje de Fibras de Acero.

Una vez realizadas varias mezclas de prueba, utilizando los agregados de Pifo, con cemento Armaduro Especial (Lafarge), aditivo y la inclusión de fibras de Acero de Basf (producción nacional), se llegó a determinar las alternativas que nos permitió alcanzar las características y resistencia requerida igual o mayor a 55.17 MPa.

Como se tratará en el numeral 4.9 “**Determinación experimental de la posibilidad de uso de aditivos hiperfluidificantes**”, en donde se comprenderá la selección del aditivo a ser utilizado en las mezclas realizadas a continuación:

Las opciones de las mezclas de prueba, son características por su variación en el porcentaje de fibras utilizadas en cada una de ellas, las cuales fueron dosificadas en función de la ficha técnica ya sea en el inmediato inferior o valor intermedio de lo

estipulado, para determinar la influencia de las fibras de acero en la resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas.

- Primera opción: Utilizando 5 kg/m³ de fibra de acero.
- Segunda opción: Utilizando 15 kg/m³ de fibra de acero.
- Tercera opción: Utilizando 20 kg/m³ de fibra de acero.

Para la obtención de las cantidades de mezcla es necesario recurrir a los datos determinados en los ensayos de laboratorio de los agregados y cemento, que se presentan a continuación.

Tabla 4.16. Resumen de propiedades de los componentes para fabricación de las mezclas.

PROPIEDADES		
ARENA		
Densidad superficie saturada seca	2.52	gr/cm ³
Densidad aparente compactada	1.44	gr/cm ³
Porcentaje de Absorción	2.29	%
Porcentaje de Humedad	0.06	%
Modulo de Finura	2.65	
RIPIO		
Densidad superficie saturada seca	2.41	gr/cm ³
Densidad aparente compactada	1.31	gr/cm ³
Porcentaje de Absorción	2.63	%
Porcentaje de Humedad	0.1	%
Modulo de Finura	6.35	
CEMENTO		
Densidad Real del cemento	3.03	gr/cm ³

Fuente: RODRIGUEZ Santiago, 2014

➤ **PRIMERA OPCIÓN:** UTILIZANDO 5 KG/M³ DE FIBRA DE ACERO.

Es necesario realizar un ejemplo de los cálculos típicos que se utilizarán para cada una de las mezclas, lo cual se explicará detalladamente en única y exclusivamente la primera opción:

Datos:

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

MATERIAL	D _{ss}	δ ap.c.	% de Abs.	% de Hum.
Unidad	g/cm ³	g/cm ³	%	%
Arena	2.52	1.44	2.29	0.06
Ripio	2.41	1.31	2.63	0.10

CEMENTO	3.03 gr/cm ³	ADITIVOS	
		% FIBRAS	5.0 Kg/m ³
		% ADITIVO	0.20 %

RESISTENCIA DEL HORMIGÓN A DISEÑAR:

Resistencia Especificada (f'_c): MPa
40.00

Resistencia Requerida (f'_{cr}):

Ecuación 1		Ecuación 2	
MPa	psi	MPa	psi
49.00	7106.96	55.17	8001.78
$f'_{cr} = 1.10f'_c + 5.0$		$f'_{cr} = \frac{f'_c + 9.65}{0.90}$	
ACI 318-08		ACI 211.4R	

A. Selección del asentamiento

Hormigón elaborado con superplastificante		
Asentamiento antes de agregar Sp. (cm)	2.54	5.08
Hormigón elaborado sin superplastificante		
Asentamiento (cm)	5.08	10.16

Asentamiento seleccionado	2.54 cm
---------------------------	---------

B. Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso

Resistencia requerida del hormigón		Tamaño máximo del agregado grueso		
psi	MPa	mm		mm
< 9000	< 62.05	19.05	a	25.40
> 9000	> 62.05	9.52	a	12.70

T.N.M seleccionado	12.70 mm
--------------------	----------

C. Volumen recomendado del agregado grueso

Contenido de agregado grueso para el T.N.M seleccionado, con arena de MF (2.5 a 3.2)				
Tamaño nominal máximo (mm)	9.52	12.70	19.05	25.40
Volumen fraccional de ripio	0.65	0.68	0.72	0.75

Factor Árido Grueso	0.68 m ³
---------------------	---------------------

Peso del Árido Grueso = (Factor Árido Grueso x δ ap.comp)x1000

δ ap.comp =	1.31 gr/cm ³
--------------------	-------------------------

FACTOR CONVERSION =	1000	g/cm ³ a kg/m ³
---------------------	------	---------------------------------------

Peso del Árido Grueso = (0.68 x 1.31)x1000 = 890.80 m³

D. Contenido de aire y determinación del agua de mezcla

$$PORCENTAJE \text{ DE VACIOS } (\%) = \left(1 - \frac{\rho_{ap.arena}}{D_s s_{arena}} \right) \times 100$$

$$PORCENTAJE \text{ DE VACIOS } (\%) = \left(1 - \frac{1.44}{2.52} \right) \times 100 = 42.86 \%$$

El contenido de aire es mayor a 35 %, se debe realizar el ajuste.

Mezcla de agua ajustada = (%V - 35)x Factor de Agua

Factor Agua (Variación)	
%	F.Agua (kg/m ³)
0	0
35	4.76
70	9.51

$$\text{Mezcla de agua ajustada} = (42.86 - 35) \times 4.76 = 37.41 \text{ Kg/m}^3$$

E. Selección de agua de mezclado y aire atrapado

$$\text{Mezcla de Agua} = 175.38 \text{ Kg/m}^3$$

Total de agua = Mezcla de Agua + Mezcla de agua ajustada

$$\text{Total de Agua} = 212.79 \text{ Kg/m}^3$$

Asentamiento cm		Agua de mezclado en kg/m ³ para los tamaños			
		T.N.M - AGREGADO (mm)			
		9.52	12.70	19.05	25.40
2.54	5.08	184.30	175.38	169.44	166.47
5.08	7.62	190.25	184.30	175.38	172.41
7.62	10.16	196.19	190.25	181.33	178.36
Aire Atrapado					
Sin superplastificante < 35%		3.0 %	2.5 %	2.0 %	1.5 %
Con superplastificante > 35%		2.5 %	2.0 %	1.5 %	1.0 %

F. Selección de la relación $w/(c+p)$ (relación agua/material cementante)

$$f'_{cr} = (f'_c + 9.65)/0.90 = \mathbf{55.17 \text{ MPa}}$$

Resistencia promedio f'_{cr} *		Edad (días)	Relación $w/(c+p)$. para los T.M.N de agregados gruesos indicados.			
psi	MPa		9.52	12.70	19.05	25.40
7000	48.28	28	0.42	0.41	0.40	0.39
8000	55.18	28	0.35	0.34	0.33	0.33
9000	62.08	28	0.30	0.29	0.29	0.28
10000	68.97	28	0.26	0.26	0.25	0.25

Se interpola para la resistencia requerida calculada

$$\text{RELACIÓN } w/(c+p) = \mathbf{0.34}$$

G. Cantidad de cemento para la mezcla

$$\text{CEMENTO} = \frac{\text{Total Agua}}{w/(c + p)}$$

$$\text{CEMENTO} = \frac{212.79}{0.34} = 625.85 \text{ kg}$$

H. Cantidades de los materiales para 1 m³ de Hormigón.

MATERIALES PARA 1 M ³		
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
CEMENTO	625.85	kg
RIPIO	890.80	kg
AGUA	212.79	kg

Tabla 4.17. Cantidades base para el diseño de las mezclas de prueba

DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN		
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
CEMENTO	0.21	m ³
RIPIO	0.37	m ³
AGUA	0.21	m ³
AIRE	0.02	m ³
VOL.TOTAL	0.81	m ³
ARENA	0.19	m ³

La cantidad de arena es igual a: $1 \text{ m}^3 - \text{Vol. Total} = 1 - 0.81 = 0.19 \text{ m}^3$

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014

Tabla 4.18. Cantidades para 1 m³, OPCIÓN N°1

DOSIFICACIÓN AL PESO			DOSIFICACIÓN
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	
CEMENTO	625.85	kg	1.00
RIPIO	890.80	kg	1.42
AGUA	212.79	kg	0.34
ARENA	481.40	kg	0.77

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014

I. PREPARACIÓN DE PROBETAS CILINDRICAS PARA LA MEJOR DOSIFICACIÓN.

Para la determinación de las cantidades necesarias para la fabricación de las doce probetas cilíndricas se tendrá como base el parámetro experimental de distintas experiencias en las cuáles se fundamentan en la cantidad de ripio necesaria para fabricar 6 cilindros de dimensiones de 10 x 20 cm.

J. En función de la **Tabla 4.18.**, se determinaran las cantidades necesarias de cada material para fabricar doce probetas.

CANTIDADES PARA LA MEZCLA DE PRUEBA:

# CILIND. DE PRUEB. :	12	#
-----------------------	-----------	---

RIPIO IMPUESTO :	24.00	Kg
------------------	-------	----

MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	DOSIFICACIÓN
CEMENTO	16.86	kg	1.00
RIPIO	24.00	kg	1.42
AGUA	5.73	kg	0.34
ARENA	12.97	kg	0.77

Cálculo tipo de la obtención de cantidades:

$$AGUA = 0.34 \times \frac{24}{1.42} = 5.73 \text{ kg}$$

$$ARENA = 0.77 \times \frac{24}{1.42} = 12.97 \text{ kg}$$

K. Una vez obtenidas las cantidades de material para el número de probetas indicado, se debe realizar la corrección por humedad de los agregados.

CORRECCION POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS:

DATOS:

MATERIAL	% de Abs.	% de Hum.
Unidad	%	%
Arena	2.29	0.06
Ripio	2.63	0.10

$$ARENA = W_{ARENA} * \left(\frac{100 + \% \text{ de Hum.}}{100 + \% \text{ de Absor.}} \right)$$

$$ARENA = 12.97 * \left(\frac{100 + 0.06}{100 + 2.29} \right)$$

ARENA=	12.7 Kg
--------	---------

$$AGUA = W_{ARENA} * \left(\frac{\% \text{ de Hum.} - \% \text{ de Absor.}}{100 + \% \text{ de Absor.}} \right)$$

$$AGUA = 12.97 * \left(\frac{0.06 - 2.29}{100 + 2.29} \right)$$

AGUA=	-0.28 Kg
-------	----------

$$RIPIO = W_{RIPIO} * \left(\frac{100 + \% \text{ de Hum.}}{100 + \% \text{ de Absor.}} \right)$$

$$RIPIO = 24.00 * \left(\frac{100 + 0.10}{100 + 2.63} \right)$$

RIPIO=	23.4 Kg
--------	---------

$$AGUA = W_{RIPIO} * \left(\frac{\% \text{ de Hum.} - \% \text{ de Absor.}}{100 + \% \text{ de Absor.}} \right)$$

$$AGUA = 24.00 * \left(\frac{0.10 - 2.63}{100 + 2.63} \right)$$

AGUA=	-0.59 Kg
-------	----------

$$AGUA \text{ DE CORRECCIÓN} = AGUA_{ARENA} + AGUA_{RIPIO}$$

CORRECCIÓN=	0.87 Kg
-------------	---------

L. Cantidades de materiales corregidos por contenido de humedad

MATERIAL	CANTIDAD	DOSIFICACIÓN
AGUA	5.73 Kg	0.34
CEMENTO	16.86 Kg	1.00
ARENA	12.69 Kg	0.75
RIPIO	23.41 Kg	1.39

M. Determinación de la cantidad de aditivo GLENIUM 3000 NS Basádonos en la ficha técnica proporcionada.

Dosificación Rendimiento:

200 - 400 cc por saco de cemento (0.40 - 0.80% del peso del cemento)

Densidad = 1.03 gr/cm³

Porcentaje = 0.20 %

$$Cantidad = \left(\frac{\% \text{ Aditivo}}{100} \right) * \text{Cantidad de cemento}$$

$$Cantidad = \left(\frac{0.20}{100} \right) * 16.86$$

Cantidad = 0.034 Kg

Cantidad = 33.72 gr

Volumen = 32.74 cm³

Volumen = 32.74 ml

N. Cantidades Totales de material al Peso y al Volumen

Tabla 4.19. Cantidades de materiales y aditivo para mezcla de Prueba opción N°1.

Cantidades Totales de material:

MATERIAL	CANTIDAD	VOLUMEN	DOSIFICACIÓN
AGUA	5.73 Kg	0.00573 m ³	0.34
CEMENTO	16.86 Kg	0.00556 m ³	1.00
ARENA	12.69 Kg	0.00503 m ³	0.75
RIPIO	23.41 Kg	0.00971 m ³	1.39
ADITIVO	33.00 ml	0.00003 m ³	

Volumen Total Mezcla N°1= **0.02608 m³**

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014

O. Determinación de Cantidad de Fibra de Acero requerida en función del volumen de hormigón a fabricar.

Cantidad requerida de Fibras de Acero:

Porcentaje de Fibras (%) = **5.0 Kg/m³**

Cantidad de fibras = % de Fibras * Volumen Total de Mezcla N°1

Cantidad de fibras = **0.130 Kg**

Cantidad de fibras = **130.00 gr**

Resumen de Materiales a utilizar en la Mezcla de Prueba N°1

UNIDAD	MATERIAL	CANTIDAD	DOSIFICACIÓN
lt	AGUA	5.73	0.34
kg	CEMENTO	16.86	1.00
kg	ARENA	12.69	0.75
kg	RIPIO	23.41	1.39
ml	ADITIVO	33.00	
gr	FIBRAS DE ACERO	130.00	

TOTAL AGUA DE MEZCLADO PARA DOCE PROBETAS			
AGUA DE DISEÑO	AGUA DE CORRECCIÓN	ADITIVO	TOTAL (kg)
5.73	0.87		—
5.73	0.84	0.033	6.61
6.57		0.033	6.61
AGUA A MEDIR		ADITIVO A MEDIR	

Para el uso de aditivo, se debió descontar la cantidad de agua de corrección igual a 0.87 kg (870 ml), quedando como agua de corrección (870 – 33= 840 ml), como se explicó en la tabla expuesta anteriormente.

MEZCLA DE PRUEBA OPCIÓN N°1

CEMENTO ARMADURO ESPECIAL (LAFARGE), ADITIVO GLENIUM 3000 NS, FIBRAS DE ACERO BASF(PRODUCCION NACIONAL) Y AGREGADOS DE PIFO.

$f'c = 40.0 \text{ MPa}$
 $f'cr = 55.17 \text{ MPa}$

% ADITIVO = 0.20 %
 % FIBRAS = 5.0 Kg/m³

N° DE MUESTRAS : 12

UNIDAD	MATERIAL	CANTIDAD	TOTAL
lt	AGUA	5.73	6.57
lt	AGUA CORRECCION	0.84	
kg	CEMENTO	16.86	16.86
kg	ARENA	12.69	12.69
kg	RIPIO	23.41	23.41

ADITIVO: 33.00 ml
 FIBRA ACERO: 130.00 gr

➤ **SEGUNDA OPCIÓN: UTILIZANDO 15 KG/M³ DE FIBRA DE ACERO.**

Para la siguiente mezcla, la variación se fundamenta en el porcentaje de aditivo a utilizarse y la cantidad de fibras de acero en la mezcla.

Por consiguiente, a continuación se expresan los valores obtenidos de las cantidades de mezcla, omitiendo los procedimientos de cálculo ya, que fueron explicados con anterioridad en la “Primera opción utilizando 5 kg/m³ de Fibras” como ejemplo.

A. Dosificación al volumen

DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN		
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
CEMENTO	0.21	m ³
RIPIO	0.37	m ³
AGUA	0.21	m ³
AIRE	0.02	m ³
VOL.TOTAL	0.81	m ³
ARENA	0.19	m ³

La cantidad de arena es igual a: $1 \text{ m}^3 - \text{Vol. Total} = 1 - 0.81 = 0.19 \text{ m}^3$

B. Dosificación al Peso

DOSIFICACIÓN AL PESO			DOSIFICACIÓN
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	
CEMENTO	625.85	kg	1.00
RIPIO	890.80	kg	1.42
AGUA	212.79	kg	0.34
ARENA	481.40	kg	0.77

Cantidades para 1 m³, opción 2

C. Cantidades para la Mezcla de prueba

CANTIDADES PARA LA MEZCLA DE PRUEBA:

# CILIND. DE PRUEB. :	12	#
-----------------------	-----------	---

RIPIO IMPUESTO :	24.00	Kg
------------------	-------	----

MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	DOSIFICACIÓN
CEMENTO	16.86	kg	1.00
RIPIO	24.00	kg	1.42
AGUA	5.73	kg	0.34
ARENA	12.97	kg	0.77

D. Cantidades con corrección de humedad

MATERIAL	CANTIDAD	DOSIFICACIÓN
AGUA	5.73 Kg	0.34
CEMENTO	16.86 Kg	1.00
ARENA	12.69 Kg	0.75
RIPIO	23.41 Kg	1.39

E. Determinación de la cantidad de aditivo GLENIUM 3000 NS, se basa en la ficha técnica proporcionada.

Dosificación Rendimiento:

200 - 400 cc por saco de cemento (0.40 - 0.80% del peso del cemento)

Densidad = 1.03 gr/cm³

Porcentaje = 0.15 %

Cantidad = 0.025 Kg

Cantidad = 25.29 gr

Volumen = 24.56 cm³

Volumen = 24.56 ml

F. Cantidades Totales de material al Peso y al Volumen

Tabla 4.20. Cantidades de materiales y aditivo para mezcla de Prueba opción N°2

Cantidades Totales de material:

MATERIAL	CANTIDAD	VOLUMEN	DOSIFICACIÓN
AGUA	5.73 Kg	0.00573 m ³	0.34
CEMENTO	16.86 Kg	0.00556 m ³	1.00
ARENA	12.69 Kg	0.00503 m ³	0.75
RIPIO	23.41 Kg	0.00971 m ³	1.39
ADITIVO	25.00 ml	0.00003 m ³	—

Volumen Total Mezcla N°2= **0.02607 m³**

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014

G. Determinación de Cantidad de Fibra de Acero requerida en función del volumen de hormigón a fabricar

Cantidad requerida de Fibras de Acero:

Porcentaje de Fibras (%) = **15.0 Kg/m³**

Cantidad de fibras = % de Fibras * Volumen Total de Mezcla N°2

Cantidad de fibras = **0.391 Kg**

Cantidad de fibras = **391.00 gr**

TOTAL AGUA DE MEZCLADO PARA DOCE PROBETAS			
AGUA DE DISEÑO	AGUA DE CORRECCIÓN	ADITIVO	TOTAL (kg)
5.73	0.87		—
5.73	0.85	0.025	6.61
6.58		0.025	6.61
AGUA A MEDIR		ADITIVO A MEDIR	

Resumen de Materiales a utilizar en la Mezcla de Prueba N°2

UNIDAD	MATERIAL	CANTIDAD	DOSIFICACIÓN
lt	AGUA	5.73	0.34
kg	CEMENTO	16.86	1.00
kg	ARENA	12.69	0.75
kg	RIPIO	23.41	1.39
ml	ADITIVO	25.00	—
gr	FIBRAS DE ACERO	391.00	—

MEZCLA DE PRUEBA OPCIÓN N°2

CEMENTO ARMADURO ESPECIAL (LAFARGE), ADITIVO GLENIUM 3000 NS, FIBRAS DE ACERO BASF(PRODUCCION NACIONAL) Y AGREGADOS DE PIFO.

f_c = 40.0 MPa

f_{cr} = 55.17 MPa

% ADITIVO = 0.15 %

% FIBRAS = 15.0 Kg/m³

N° DE MUESTRAS : 12

UNIDAD	MATERIAL	CANTIDAD	TOTAL
lt	AGUA	5.73	6.58
lt	AGUA CORRECCION	0.85	
kg	CEMENTO	16.86	16.86
kg	ARENA	12.69	12.69
kg	RIPIO	23.41	23.41

ADITIVO: 25.00 ml

FIBRA ACERO: 391.00 gr

➤ **TERCERA OPCIÓN: UTILIZANDO 20 KG/M³ DE FIBRA DE ACERO.**

Para la siguiente mezcla, la variación se fundamenta en el porcentaje de aditivo a utilizarse y la cantidad de fibras de acero.

A. Dosificación al volumen

DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN		
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD
CEMENTO	0.21	m ³
RIPIO	0.37	m ³
AGUA	0.21	m ³
AIRE	0.02	m ³
VOL.TOTAL	0.81	m ³
ARENA	0.19	m ³

La cantidad de arena es igual a: $1 \text{ m}^3 - \text{Vol. Total} = 1 - 0.81 = 0.19 \text{ m}^3$

B. Dosificación al Peso

DOSIFICACIÓN AL PESO			DOSIFICACIÓN
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	
CEMENTO	625.85	kg	1.00
RIPIO	890.80	kg	1.42
AGUA	212.79	kg	0.34
ARENA	481.40	kg	0.77

Cantidades para 1 m³, opcion 3

C. Cantidades para la Mezcla de prueba

CANTIDADES PARA LA MEZCLA DE PRUEBA:

# CILIND. DE PRUEB. :	12	#
-----------------------	-----------	---

RIPIO IMPUESTO :	24.00	Kg
------------------	-------	----

MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	DOSIFICACIÓN
CEMENTO	16.86	kg	1.00
RIPIO	24.00	kg	1.42
AGUA	5.73	kg	0.34
ARENA	12.97	kg	0.77

D. Cantidades con corrección de humedad

MATERIAL	CANTIDAD	DOSIFICACIÓN
AGUA	5.73 Kg	0.34
CEMENTO	16.86 Kg	1.00
ARENA	12.69 Kg	0.75
RIPIO	23.41 Kg	1.39

E. Determinación de la cantidad de aditivo GLENIUM 3000 NS, se basa en la ficha técnica proporcionada.

Dosificación Rendimiento:

200 - 400 cc por saco de cemento (0.40 - 0.80% del peso del cemento)

Densidad = 1.03 gr/cm³

Porcentaje = 0.15 %

Cantidad = 0.025 Kg

Cantidad = 25.29 gr

Volumen = 24.56 cm³

Volumen = 24.56 ml

F. CANTIDADES TOTALES DE MATERIAL AL PESO Y AL VOLUMEN

Tabla 4.21. Cantidades de materiales y aditivo para mezcla de Prueba opción N°3.

Cantidades Totales de material:

MATERIAL	CANTIDAD	VOLUMEN	DOSIFICACIÓN
AGUA	5.73 Kg	0.00573 m3	0.34
CEMENTO	16.86 Kg	0.00556 m3	1.00
ARENA	12.69 Kg	0.00503 m3	0.75
RIPIO	23.41 Kg	0.00971 m3	1.39
ADITIVO	25.00 ml	0.00003 m3	—

Volumen Total Mezcla N°3= **0.02607 m3**

Fuente: RODRIGUEZ Santiago, 2014

G. DETERMINACIÓN DE CANTIDAD DE FIBRA DE ACERO REQUERIDA EN FUNCIÓN DEL VOLUMEN DE HORMIGÓN A FABRICAR

Cantidad requerida de Fibras de Acero:

Porcentaje de Fibras (%) = **20.0 Kg/m3**

Cantidad de fibras = % de Fibras * Volumen Total de Mezcla N°3

Cantidad de fibras = **0.521 Kg**

Cantidad de fibras = **521.00 gr**

Resumen de Materiales a utilizar en la Mezcla de Prueba N°3

UNIDAD	MATERIAL	CANTIDAD	DOSIFICACIÓN
lt	AGUA	5.73	0.34
kg	CEMENTO	16.86	1.00
kg	ARENA	12.69	0.75
kg	RIPIO	23.41	1.39
ml	ADITIVO	25.00	—
gr	FIBRAS DE ACERO	521.00	—

TOTAL AGUA DE MEZCLADO PARA DOCE PROBETAS			
AGUA DE DISEÑO	AGUA DE CORRECCIÓN	ADITIVO	TOTAL (kg)
5.73	0.87		
5.73	0.85	0.025	6.61
6.58		0.025	6.61
AGUA A MEDIR		ADITIVO A MEDIR	

MEZCLA DE PRUEBA OPCIÓN N°3

CEMENTO ARMADURO ESPECIAL (LAFARGE), ADITIVO GLENIUM 3000 NS, FIBRAS DE ACERO BASF(PRODUCCION NACIONAL) Y AGREGADOS DE PIFO.

$f_c = 40.0 \text{ MPa}$
 $f_{cr} = 55.17 \text{ MPa}$

% ADITIVO = 0.15 %
 % FIBRAS = 20.0 Kg/m³

N° DE MUESTRAS : 12

UNIDAD	MATERIAL	CANTIDAD	TOTAL
lt	AGUA	5.73	6.58
lt	AGUA CORRECCION	0.85	
kg	CEMENTO	16.86	16.86
kg	ARENA	12.69	12.69
kg	RIPIO	23.41	23.41

ADITIVO: 25.00 ml
 FIBRA ACERO: 521.00 gr

4.6 Control de calidad

El control de calidad del hormigón, abarca el control de la aptitud de sus componentes, los equipos empleados, las proporciones de la mezcla, características en estado fresco y propiedades del hormigón endurecido.

El implementar el control de calidad tiene como objetivo cuidar dos temas importantes, tales el técnico y económico. Desde el punto de vista técnico, permite reducir la variación de resultados y tener una mayor certeza sobre el producto final, lo cual permite trabajar con menores márgenes de error, siempre tomando en cuenta el lado de la seguridad, economizando materiales y reduciendo el tiempo de tareas y reparación.

Existen parámetros que influyen en el control de la calidad del hormigón, los mismos que pueden ser controlables y los que no pueden ser controlables sea antes, durante o después de la ejecución de la producción del hormigón. La implementación de un control de calidad dependerá de la magnitud e importancia de la obra, en las cuales debe existir una justificación válida para ejecutar cierto control desde los materiales componentes hasta el producto final del hormigón.

Uno de los tipos de control de calidad más utilizados y es más importante, es el Control por Resistencia, el cual se efectúa a partir de la elaboración de probetas cilíndricas las cuales serán ensayadas a compresión. Las probetas cilíndricas utilizadas son de dimensiones de 100 mm de diámetro por 200 mm de altura, siendo más convenientes en cuanto a almacenamiento y esfuerzo menor, aplicado en la máquina de compresión para su rotura.

Este control de calidad viene fundamentado en la aceptabilidad que tendrá el hormigón una vez obtenido el mismo, tomando en cuenta que es un material preparado con componentes heterogéneos, los que están sometidos a variaciones que no pueden ser totalmente controlados. Esta aceptabilidad se basa en los ensayos que se realizan a los 28 días de fraguado, los cuales no son solo en función de los resultados de los ensayos de las probetas sino de la regularidad de la producción del hormigón y de las exigencias a las cuales debemos regirnos en la producción del mismo.

Para poder determinar esta variación de la producción del hormigón, es necesario el utilizar un procedimiento estadístico como es el de la “Desviación Estándar”, este procedimiento a utilizarse ha sido recogido por el Comité 214 del ACI, el mismo que será tratado de una manera más objetiva y práctica en el capítulo V en el Tratamiento estadístico de resultados.

4.7 Clasificación de agregados

El material granular que es incorporado en los Hormigones tiene importancia en cuanto a la obtención de resultados óptimos mecánicos, los cuales dependerán de su clasificación tales como la procedencia, por su tamaño y por su gravedad específica.

a. Por su procedencia:

- ✓ Agregados Naturales: Formados por procesos geológicos.

Los agregados gruesos y finos de la Cantera Construareñas – Provincia de Pichincha Cantón Pifo son rocas naturales producto de depósitos de origen volcánico, forma parte del afloramiento relacionado al Antisana de lava con transición a brechas.

La brecha es una escoria espumosa, mientras la lava es muy masiva. Hay capa delgada de cangagua.

- ✓ Agregados artificiales: Provenientes de los agregados naturales mediante una transformación. Estos agregados son los que constituyen la escoria siderúrgica, la arcilla horneada, el hormigón reciclado, piedra chancada, entre otros.

b. Por su tamaño:

- ✓ Agregado grueso: Agregado retenido de modo predominante por el tamiz N°4 (4,75 mm).

El agregado grueso utilizado en nuestro medio es denominado Grava, que no es más que el resultado de la desintegración y abrasión natural de la roca o que procede de la trituración de esta. Generalmente es obtenido a través de la explotación en canteras, estos son cortados para darle forma y tamaño.

✓ Agregado fino: Agregado que pasa por el tamiz $\frac{3}{4}$ " (9.5 mm) y que pasa por completo el tamiz N°4 (4.75 mm) y es retenido de modo predominante por el tamiz N°200 (75 μ m).

El agregado fino utilizado en nuestro medio se denomina Arena, este resulta de la desintegración y abrasión naturales de la roca o procede de la trituración de esta.

c. Por su gravedad específica:

A continuación se indican los valores promedio de las propiedades físicas de las rocas principales.

Tabla 4.22. Clasificación de los Agregados según su gravedad específica.

Tipo de Roca	Gravedad Específica	Absorción * %	Prueba de abrasión de los Ángeles %
IGNEAS			
Granito	2.65	0.30	38
Sienita	2.74	0.40	24
Diorita	2.90	0.30	-
Gabro	2.96	0.30	18
Peridotita	3.31	0.30	-
Felsita	2.66	0.80	18
Basalto	2.86	0.50	14
Diabasa	2.96	0.30	18
SEDIMENTARIAS			
Piedra caliza	2.66	0.90	26
Dolomita	2.70	1.10	25
Arcilla esquistosa	1.80 – 2.50	-	-
Arenisca Chert	2.54	1.80	38
Conglomerado	2.50	1.60	26
Brecha	2.68	1.20	-
METAMÓRFICAS			
Gneis	2.74	0.30	45
Esquisto	2.85	0.40	38
Anfibolita	3.02	0.40	35
Pizarra	2.74	0.50	20
Cuarcita	2.69	0.30	28
Mármol	2.63	0.20	47
Serpentina	2.62	0.90	19

* Después de inmersión en agua a temperatura y presión atmosférica.

Fuente: INGENIERIA CIVIL – Proyectos y apuntes prácticos de Ingeniería Civil (Clasificación de los Agregados para el Hormigón).

- **Ligeros:** Los agregados ligeros son característicos por tener una gravedad específica < 2.5 . Son utilizados para producir hormigón aislante, para mampostería, o estructura ligera que pesa de 400 a 2000 kg/m³.
- **Normales:** Son agregados que tiene una gravedad específica $2.5 < G_s < 2.75$. Son los materiales principales para el hormigón, de peso normal entre 2300 a 2500 kg/m³, los cuales son arenas y gravas, de los cuales se los puede encontrar como roca triturada y escoria siderúrgica. Las rocas trituradas de uso común son el Granito, Basalto, Arenisca, Piedra Caliza y Cuarcita.
- **Pesados:** Su gravedad específica es > 2.75 . Usados para producir hormigón de 2900 a 3500 kg/m³, empleados para blindaje contra radiación y para contrapesos de hormigón.

4.8 Limpieza (por lavado)

La producción eficaz de hormigones de Alta resistencia tiene parámetros importantes dentro de la etapa inicial de selección cuidadosa, control y dosificación de los componentes. Intrínsecamente de una forma amplia se tiene el tratamiento previo que deben tener los agregados antes de ser utilizados tanto en los ensayos para determinación de características físicas y en la dosificación misma, como es el lavado cuidadoso, tanto el árido grueso como del árido fino con la finalidad de tener las partículas libres de impurezas dañinas que afectan al correcto desempeño del hormigón las cuales están adheridas a la superficie de los agregados.

El hormigón no es otra cosa que piedra y arena cohesionados por el cemento, para lo cual es indispensable utilizar áridos de buena calidad para determinar las características deseadas.

La limpieza y lavado de los agregados, evita la disminución de la resistencia mecánica del hormigón, y en especial la resistencia a tracción. La existencia de esta película de polvo puede provocar el aumento del contenido de cemento, el contenido de agua de mezclado, o ambos, pero manteniendo constante la relación a/c.

Para la fabricación de hormigones de Alta Resistencia es necesario tener un control de calidad mayor que los hormigones normales, siendo así de suma importancia el tener material apto sin materia orgánica, sin terrones de arcilla, sin sales solubles, o impurezas carbonosas, las que afectan a el cemento y que contribuyen a la pérdida de calidad y resistencia final del hormigón y que se manifestaran tanto en la etapa de fabricación y colocación de la mezcla.

4.9 Determinación experimental de la posibilidad de uso de aditivos hiperfluidificantes.

Para determinar experimentalmente el uso de aditivos hiperfluidificantes se utilizaron dos tipos de aditivos que son Sikament N-100 y Glenium 3000NS. La selección del aditivo se realizó en función del asentamiento obtenido mediante la utilización del cono de Abrams para el mismo tipo de dosificación de la mezcla utilizando la norma ASTM C143 específica para la determinación de la trabajabilidad de la masa.

Tabla 4.23. Cuadros de resultados experimentales utilizando Sikament N-100 y GLENIUM 3000 NS

MEZCLA ADITIVO – Sikament-N100		ASENTAMIENTO (cm)
w/c = 0.40	Aditivo = 1.0% (peso cemento)	17.5
w/c = 0.39	Aditivo = 0.5% (peso cemento)	12.0
w/c = 0.40	Aditivo = 0.5% (peso cemento)	10.5
w/c = 0.40	Aditivo = 0.5% (peso cemento)	6.5

MEZCLA ADITIVO – GLENIUM 3000NS		ASENTAMIENTO (cm)
w/c = 0.34	Aditivo = 0.2% (peso cemento)	5.7
w/c = 0.34	Aditivo = 0.2% (peso cemento)	5.5
w/c = 0.34	Aditivo = 0.15% (peso cemento)	6.0
w/c = 0.34	Aditivo = 0.15% (peso cemento)	3.5

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014

De los cuadros expuestos anteriormente se observa que se obtiene una mejor trabajabilidad y mayores asentamientos utilizando el aditivo Sikament-N100; según los parámetros necesarios para producir hormigones de alta resistencia el asentamiento requerido es de 6 ± 0.5 cm, de lo que se concluye que el aditivo a ser utilizado por sus prestaciones de trabajabilidad y asentamiento es el aditivo GLENIUM 3000NS.

4.10 Marcas locales de aditivos Hiperfluidificantes.

En nuestro medio podemos encontrar distintos tipos de aditivos Hiperfluidificantes reductores de agua de alto rango, los cuales tendrán su diferencia en cuanto a dosificación, composición química, y desempeño en la mezcla de hormigón. Los aditivos Hiperfluidificantes son utilizados para mezclas que requieren de alta fluidez como es el caso de hormigones bombeables o autocompactantes.

Este tipo de aditivos son a base de policarboxilatos los cuales son cadenas de polímeros acrílicos, los que se basan en copolímeros de ácido y grupos éter de ácido acrílico.

Los aditivos a base de policarboxilatos proveen al hormigón de un excelente comportamiento en estado fresco conjuntamente con sobresalientes resultados en estado endurecido, los cuales se destacan a continuación:

- ❖ Alta reducción de agua.
- ❖ Elevada trabajabilidad extendida.
- ❖ Mejor comportamiento reológico del hormigón fresco.
- ❖ Elevadas resistencias tempranas.
- ❖ Elevadas resistencias finales.
- ❖ Muy baja permeabilidad.
- ❖ Bajas relaciones agua/cemento.
- ❖ Alta relación desempeño/costo.

Es necesario contemplar que este tipo de aditivos son sensibles los cambios externos, tales como características del cemento, finura, cantidad de arena y temperatura de hormigón; por lo que es necesario tomar las debidas precauciones para un control de calidad óptimo para la obtención de un hormigón con las características y desempeño necesarios.

A continuación se indicaran los distintos tipos de aditivos Hiperfluidificantes con sus respectivas casas comerciales que las podemos encontrar localmente:

A. Basf:

- Glenium 3000 NS.
- Glenium 3030 NS.
- Glenium TC1301.
- Rheobuild 1000.
- Rheobuild 1010.
- Rheobuild 1050.

B. Aditec:

- Aditec SF-106.
- Millenium.

C. SiKa:

- Sika Viscocrete 2100.
- Sika Viscocrete N-100.
- Sikament He 200.
- Sikament – N 100.
- Sikament NS.
- Sikaplast 1010.

D. Tespecon:

- EPS 2001 M.

4.11 Ensayos a la compresión de probetas a edades de 3, 7, y 28 días

El parámetro más importante en la elaboración de hormigón es su calidad, la cuál es posible determinar por medio de ensayos de compresión simple de las diferentes probetas cilíndricas, tomando en cuenta sus resistencia a las distintas edades del hormigón.

Es necesario explicar que previo al ensayo fue necesario que las muestras cilíndricas fuesen sometidas a una preparación requerida como se indica a continuación:

- Retirar las muestras que se encuentran sumergidas ya sea en la cámara de humedad o bandejas colocadas agua y con cal.
- Dejarlos secar a temperatura ambiente.
- Tomar las dimensiones requeridas de los cilindros.
- Una vez que se han secado las muestras cilíndricas, colocamos capping en ambos extremos de la probeta.
- Colocar cinta de embalaje alrededor de la muestra para evitar la desintegración y explosión de la muestra al estar sometido a las cargas de compresión.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de las Mezclas Patrón y las Mezclas de Prueba realizadas en la investigación:

**RESUMEN DE ENSAYOS A LA COMPRESIÓN
MEZCLAS PATRÓN**



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 40$ MPa), UTILIZANDO AGREGADOS DEL SECTOR DE PIFO, FIBRAS METÁLICAS, CEMENTO LAFARGE ARMADURO ESPECIAL Y ADITIVOS HIPERFLUIDIFICANTES.

RESULTADO A LA COMPRESIÓN – MEZCLA PATRÓN.

PRIMERA MEZCLA PATRÓN.

Fecha: 17 de Diciembre de 2013

f_{cr} = 59.61 MPa

Norma: NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C - 39)

MEZCLA PATRÓN CALCULADA									
$f'_c = 44$ MPa			$w/(c+p) =$	0.31	$f_{cr} =$	59.61 MPa	$Asentamiento =$	5 cm	
Muestra N°.	Fecha de Realización	Fecha de Ensayo	Edad Días	Diámetro Promedio cm	Área de Cilindro cm^2	Carga kg	Resistencia Compresión MPa	Promedio MPa	Porcentaje %
1	17/12/2013	20/12/2013	3	10.40	84.95	34540	39.86	40.09	67.25
2	17/12/2013	20/12/2013		10.23	82.25	32270	38.46		
3	17/12/2013	20/12/2013		10.37	84.41	36110	41.94		
4	17/12/2013	24/12/2013	7	10.37	84.41	40690	47.26	48.99	82.18
5	17/12/2013	24/12/2013		10.17	81.18	41970	50.69		
6	17/12/2013	24/12/2013		10.40	84.95	42470	49.01		
7	17/12/2013	14/01/2014	28	10.33	83.86	45020	52.63	53.94	90.49
8	17/12/2013	14/01/2014		10.33	83.86	47820	55.91		
9	17/12/2013	14/01/2014		10.13	80.65	43830	53.28		



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 40$ MPa), UTILIZANDO AGREGADOS DEL SECTOR DE PIFO, FIBRAS METÁLICAS, CEMENTO LAFARGE ARMADURO ESPECIAL Y ADITIVOS HIPERFLUIDIFICANTES.

RESULTADO A LA COMPRESIÓN – MEZCLA PATRÓN.

SEGUNDA MEZCLA PATRÓN.

Fecha: 17 de Diciembre de 2013

$f_{cr} = 59.61$ MPa

Norma: NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C - 39)

MEZCLA PATRÓN REDUCIENDO RELACIÓN W/(C+P)									
$f'_c = 44$ MPa			$w/(c+p) =$	0.30	$f_{cr} =$	59.61 MPa	Asentamiento =	2,5 cm	
Muestra N°.	Fecha de Realización	Fecha de Ensayo	Edad Días	Diámetro Promedio cm	Área de Cilindro cm ²	Carga kg	Resistencia Compresión MPa	Promedio MPa	Porcentaje %
1	17/12/2013	20/12/2013	3	10.27	82.78	35000	41.45	39.78	66.73
2	17/12/2013	20/12/2013		10.40	84.95	32730	37.77		
3	17/12/2013	20/12/2013		10.33	83.86	34310	40.11		
4	17/12/2013	24/12/2013	7	10.27	82.78	44280	52.44	51.39	86.20
5	17/12/2013	24/12/2013		10.27	82.78	42420	50.24		
6	17/12/2013	24/12/2013		10.50	86.59	45470	51.48		
7	17/12/2013	14/01/2014	28	10.30	83.32	46070	54.21	56.33	94.49
8	17/12/2013	14/01/2014		10.30	83.32	49960	58.79		
9	17/12/2013	14/01/2014		10.33	83.86	47880	55.98		



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 40$ MPa), UTILIZANDO AGREGADOS DEL SECTOR DE PIFO, FIBRAS METÁLICAS, CEMENTO LAFARGE ARMADURO ESPECIAL Y ADITIVOS HIPERFLUIDIFICANTES.

RESULTADO A LA COMPRESIÓN – MEZCLA PATRÓN.

TERCERA MEZCLA PATRÓN.

Fecha: 17 de Diciembre de 2013

f_{cr} = 59.61 MPa

Norma: NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C - 39)

MEZCLA PATRÓN AUMENTANDO RELACIÓN W/(C+P)									
$f'_c = 44$ MPa			$w/(c+p) =$	0.32	$f_{cr} =$	59.61 MPa	$Asentamiento =$	2,8 cm	
Muestra N°.	Fecha de Realización	Fecha de Ensayo	Edad Días	Diámetro Promedio cm	Área de Cilindro cm ²	Carga kg	Resistencia Compresión MPa	Promedio MPa	Porcentaje %
1	17/12/2013	20/12/2013	3	10.37	84.41	33290	38.66	38.71	64.94
2	17/12/2013	20/12/2013		10.27	82.78	33660	39.86		
3	17/12/2013	20/12/2013		10.27	82.78	31760	37.61		
4	17/12/2013	24/12/2013	7	10.33	83.86	43040	50.32	49.11	82.39
5	17/12/2013	24/12/2013		10.43	85.49	42510	48.75		
6	17/12/2013	24/12/2013		10.37	84.41	41560	48.27		
7	17/12/2013	14/01/2014	28	10.27	82.78	47030	55.70	54.59	91.58
8	17/12/2013	14/01/2014		10.17	81.18	45580	55.05		
9	17/12/2013	14/01/2014		10.30	83.32	45060	53.02		

**RESUMEN DE ENSAYOS A LA COMPRESIÓN
MEZCLAS DE PRUEBA**



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 40$ MPa), UTILIZANDO AGREGADOS DEL SECTOR DE PIFO, FIBRAS METÁLICAS, CEMENTO LAFARGE ARMADURO ESPECIAL Y ADITIVOS HIPERFLUIDIFICANTES.

RESULTADO A LA COMPRESIÓN – MEZCLA DE PRUEBA.

PRIMERA ALTERNATIVA.

FIBRAS DE ACERO: 5 Kg/m^3

% DE ADITIVO: 0.20 %

Fecha: 26 de Marzo de 2014

$f'_{cr} = 55.17 \text{ MPa}$

Norma: NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C - 39)

Muestra Nº.	Fecha de Realización	Fecha de Ensayo	Edad	Diámetro Promedio	Área de Cilindro	Carga	Resistencia Compresión	Promedio	Porcentaje
			Días	cm	cm^2	kg	MPa	MPa	%
1	26/03/2014	29/03/2014	3	10.2	82.25	35120	41.86	40.56	73.51
2	26/03/2014	29/03/2014		10.2	81.71	34700	41.63		
3	26/03/2014	29/03/2014		10.1	80.12	31200	38.18		
4	26/03/2014	02/04/2014	7	10.3	83.32	35950	42.30	44.02	79.79
5	26/03/2014	02/04/2014		10.4	84.40	38700	44.95		
6	26/03/2014	02/04/2014		10.5	86.04	39330	44.81		
7	26/03/2014	23/04/2014	28	10.4	84.95	50770	58.59	56.78	102.91
8	26/03/2014	23/04/2014		10.3	83.86	47230	55.21		
9	26/03/2014	23/04/2014		10.4	84.95	48980	56.53		

Asentamiento= 5.7 cm



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 40$ MPa), UTILIZANDO AGREGADOS DEL SECTOR DE PIFO, FIBRAS METÁLICAS, CEMENTO LAFARGE ARMADURO ESPECIAL Y ADITIVOS HIPERFLUIDIFICANTES.

RESULTADO A LA COMPRESIÓN – MEZCLA DE PRUEBA.

SEGUNDA ALTERNATIVA.

FIBRAS DE ACERO: 15 Kg/m³

% DE ADITIVO: 0.15 %

Fecha: 28 de Marzo de 2014

$f'_{cr} = 55.17$ MPa

Norma: NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C - 39)

Muestra Nº.	Fecha de Realización	Fecha de Ensayo	Edad	Diámetro Promedio	Área de Cilindro	Carga	Resistencia Compresión	Promedio	Porcentaje
			Días	cm	cm ²	kg	MPa	MPa	%
1	28/03/2014	31/03/2014	3	10.2	81.71	33510	40.21	39.40	71.42
2	28/03/2014	31/03/2014		10.3	82.78	34510	40.87		
3	28/03/2014	31/03/2014		10.4	84.40	31970	37.13		
4	28/03/2014	04/04/2014	7	10.2	82.25	36020	42.94	41.14	74.57
5	28/03/2014	04/04/2014		10.4	84.40	34600	40.19		
6	28/03/2014	04/04/2014		10.3	82.78	34030	40.30		
7	28/03/2014	25/04/2014	28	10.3	82.78	45380	53.74	52.54	95.23
8	28/03/2014	25/04/2014		10.2	81.71	42720	51.26		
9	28/03/2014	25/04/2014		10.2	81.71	43860	52.62		

Asentamiento= 5.5 cm



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 40$ MPa), UTILIZANDO AGREGADOS DEL SECTOR DE PIFO, FIBRAS METÁLICAS, CEMENTO LAFARGE ARMADURO ESPECIAL Y ADITIVOS HIPERFLUIDIFICANTES.

RESULTADO A LA COMPRESIÓN – MEZCLA DE PRUEBA.

TERCERA ALTERNATIVA.

FIBRAS DE ACERO: 20 Kg/m³

% DE ADITIVO: 0.15 %

Fecha: 31 de Marzo de 2014

$f_{cr} = 55.17$ MPa

Norma: NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C - 39)

Muestra Nº.	Fecha de Realización	Fecha de Ensayo	Edad	Diámetro Promedio	Área de Cilindro	Carga	Resistencia Compresión	Promedio	Porcentaje
			Días	cm	cm ²	kg	MPa	MPa	%
1	31/03/2014	03/04/2014	3	10.3	83.32	35420	41.68	41.05	74.41
2	31/03/2014	03/04/2014		10.3	83.86	34610	40.46		
3	31/03/2014	03/04/2014		10.4	85.49	35770	41.02		
4	31/03/2014	07/04/2014	7	10.3	83.86	38690	45.23	45.74	82.91
5	31/03/2014	07/04/2014		10.2	82.25	38480	45.87		
6	31/03/2014	07/04/2014		10.4	84.40	39710	46.12		
7	31/03/2014	28/04/2014	28	10.3	83.32	43110	50.72	51.64	93.60
8	31/03/2014	28/04/2014		10.3	83.32	44710	52.61		
9	31/03/2014	28/04/2014		10.3	83.86	44130	51.59		

Asentamiento= 6.0 cm

4.12 Análisis de resultados

El análisis de resultados se realizó tomando en cuenta dos aspectos importantes, el técnico y económico, los cuales son fundamentales en el momento de tomar una decisión en una obra ingenieril, haciendo énfasis en el factor beneficio/costo, el análisis de costos se determinará en la validación de la investigación.

Los resultados obtenidos en cada una de las dosificaciones y opciones de mezcla son muy favorables dentro de la investigación; sin embargo la dosificación que cumple con la resistencia requerida y satisface las características de trabajabilidad es la opción primera con “5 kg/m³ de fibras metálicas” y 0.20 % de aditivo hiperfluidificante en la que se obtuvo el 102.91 % de la resistencia requerida, pero es necesario realizar el análisis económico para determinar si es o no factible el utilizar esta mezcla, para lo cual se han preparado los siguientes diagramas y tablas para aclarar la selección.



**CUADROS COMPARATIVOS ENTRE LAS TRES OPCIONES
DE LAS MEZCLAS DE PRUEBA, A SUS EDADES DE
ENSAYO.**

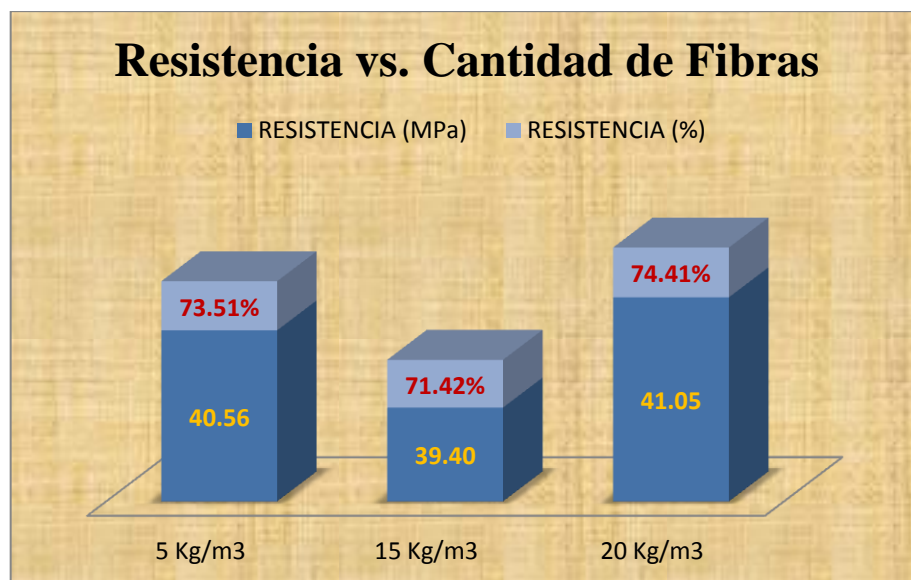
3 DIAS DE FRAGUADO

AGREGADOS DEL SECTOR DE PIFO, FIBRAS METÁLICAS, CEMENTO LAFARGE ARMADURO
ESPECIAL Y ADITIVOS HIPERFLUIDIFICANTES.

$f_{cr} = 55.17 \text{ MPa}$

EDAD (DÍAS)	ALTERNATIVA	Nº1		Nº2		Nº3	
	% DE FIBRA	5 Kg/m ³		15 Kg/m ³		20 Kg/m ³	
	MUESTRA	RESISTENCIA (MPa)	%	RESISTENCIA (MPa)	%	RESISTENCIA (MPa)	%
3	1	41.86	75.88%	40.21	72.88%	41.68	75.55%
	2	41.63	75.46%	40.87	74.08%	40.46	73.34%
	3	38.18	69.20%	37.13	67.30%	41.02	74.35%
	PROMEDIO	40.56	73.51%	39.40	71.42%	41.05	74.41%

GRÁFICA 4.1. Resistencia vs. Cantidad kg/m³ de Fibras Metálicas, 3 días de edad.



Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014



CUADROS COMPARATIVOS ENTRE LAS TRES OPCIONES A SUS EDADES DE ENSAYO.

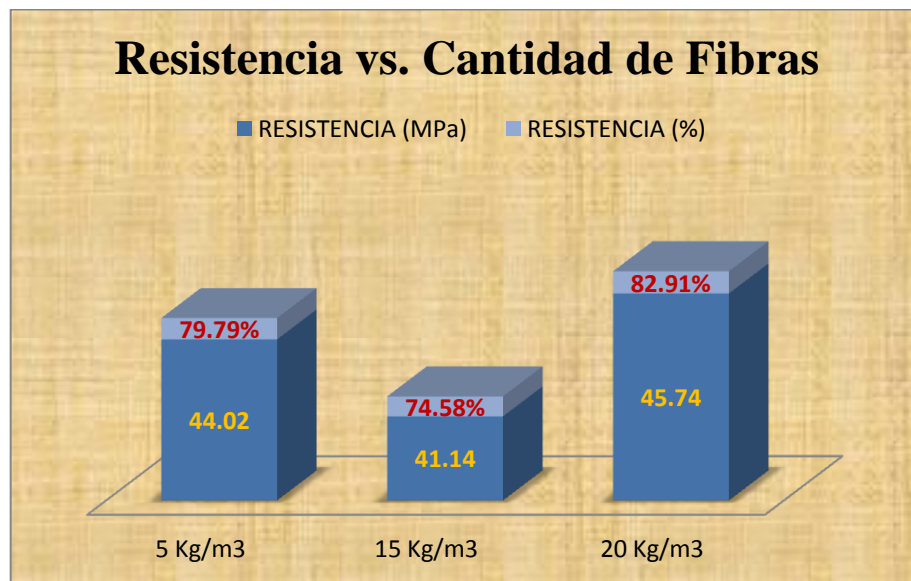
7 DIAS DE FRAGUADO

AGREGADOS DEL SECTOR DE PIFO, FIBRAS METÁLICAS, CEMENTO LAFARGE ARMADURO ESPECIAL Y ADITIVOS HIPERFLUIDIFICANTES.

$f_{cr} = 55.17 \text{ MPa}$

EDAD (DÍAS)	ALTERNATIVA	Nº1		Nº2		Nº3	
	% DE FIBRA	5 Kg/m ³		15 Kg/m ³		20 Kg/m ³	
	MUESTRA	RESISTENCIA (MPa)	%	RESISTENCIA (MPa)	%	RESISTENCIA (MPa)	%
7	1	42.30	76.67%	42.94	77.83%	45.23	81.98%
	2	44.95	81.48%	40.19	72.85%	45.87	83.14%
	3	44.81	81.23%	40.3	73.05%	46.12	83.60%
PROMEDIO		44.02	79.79%	41.14	74.58%	45.74	82.91%

GRÁFICA 4.2. Resistencia vs. Cantidad kg/m³ de Fibras Metálicas, 7 días de edad.



Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014



CUADROS COMPARATIVOS ENTRE LAS TRES OPCIONES A SUS EDADES DE ENSAYO.

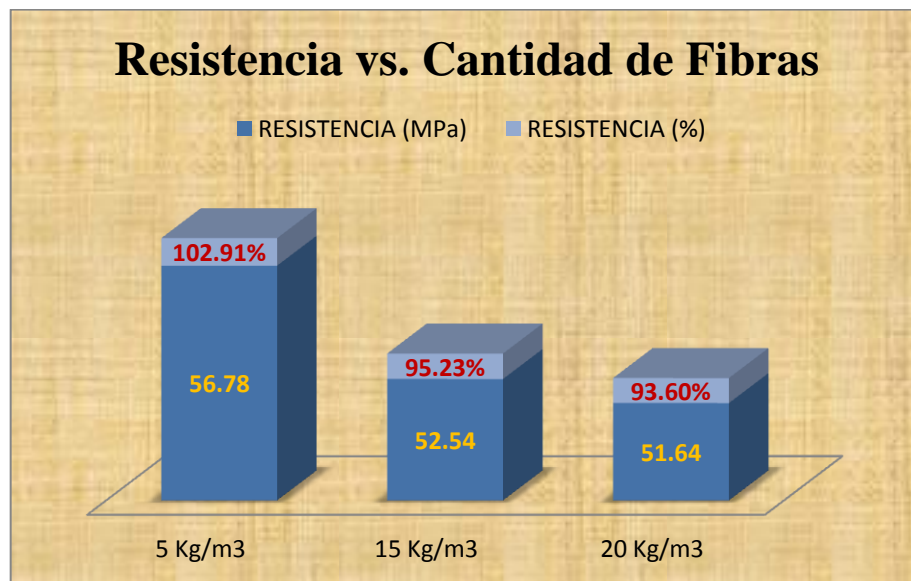
28 DIAS DE FRAGUADO

AGREGADOS DEL SECTOR DE PIFO, FIBRAS METÁLICAS, CEMENTO LAFARGE ARMADURO ESPECIAL Y ADITIVOS HIPERFLUIDIFICANTES.

$f_{cr} = 55.17 \text{ MPa}$

EDAD (DÍAS)	ALTERNATIVA	N°1		N°2		N°3	
	% DE FIBRA	5 Kg/m ³		15 Kg/m ³		20 Kg/m ³	
	MUESTRA	RESISTENCIA (MPa)	%	RESISTENCIA (MPa)	%	RESISTENCIA (MPa)	%
28	1	58.59	106.20%	53.74	97.41%	50.72	91.93%
	2	55.21	100.08%	51.26	92.91%	52.61	95.36%
	3	56.53	102.46%	52.62	95.38%	51.59	93.51%
PROMEDIO		56.78	102.91%	52.54	95.23%	51.64	93.60%

GRÁFICA 4.3. Resistencia vs. Cantidad kg/m³ de Fibras Metálicas, 28 días de edad.



Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014

Analizando las gráficas 4.1, 4.2, 4.3, se observa que una de las tres opciones de mezcla de prueba es la que cumple la resistencia requerida sobrepasándola con un 102.91%, lo que se podría considerar como la opción elegida desde el aspecto

técnico. Esta mezcla que satisface las necesidades mecánicas es la OPCION N°1 sin tomar en cuenta el análisis económico, sin embargo es claro observar que el hormigón que apto para la producción de la mezcla definitiva, la que contiene la menor cantidad de fibras metálicas.

Los resultados obtenidos a los 28 días de edad, son los que implican la toma de decisión en cuanto a selección de la mezcla óptima de acuerdo a la resistencia, técnicamente dicho, no obstante es necesario evaluar económicamente para la selección final de entre las tres alternativas de mezcla, lo cual se realizara a continuación.

ANÁLISIS ECONÓMICO DE CADA UNA DE LAS ALTERNATIVAS DE DISEÑO.

El análisis económico de las tres opciones de mezclas, nos dará la orientación para seleccionar la óptima mezcla con su respectiva dosificación.

En la presente investigación se debió tomar en cuenta que esta clase de hormigones son realizadas en plantas de producción en masa u Hormigoneras a nivel industrial, ya que la elaboración requiere de una supervisión y control en cada una de las etapas de producción con personal capacitado y calificado. Por esta razón es necesario realizar un análisis de precios unitarios de las materias primas de cada una de las mezclas de prueba en la presente investigación.

En la Tabla siguiente, se indican los materiales usados en los hormigones de alta resistencia.

Tabla 4.24. Materiales utilizados para la fabricación de H.A.R

MATERIALES UTILIZADOS EN LOS HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA			
MATERIALES	PROVEEDOR	PRODUCTO	PRESENTACIÓN
CEMENTO	LAFARGE S.A.	ARMADURO ESPECIAL	50.0 Kg
AGREGADO GRUESO	CONSTRUARENAS	RIPIO 67	VARIABLE
AGREGADO FINO	CONSTRUARENAS	ARENA	VARIABLE
AGUA	EPMAPS-QUITO	AGUA	VARIABLE
ADITIVO	BASF	GLENIUM 3000 NS	4.0 Kg
FIBRAS METÁLICAS	BASF	PRODUCCION NACIONAL	25.0 Kg

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014

Los costos de cada uno de los componentes utilizados para la producción de los Hormigones de alta resistencia, los que se utilizarán para el análisis económico son los siguientes:

Tabla 4.25. Costos de los materiales para su producción.

COSTO DE LOS MATERIALES				
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO (\$)	FUENTE
CEMENTO	50	Kg	7.24	DISTRIB. CALDERÓN
AGREGADO GRUESO	1	m ³	13.50	CONSTRUARENAS
AGREGADO FINO	1	m ³	11.00	CONSTRUARENAS
AGUA	1	m ³	0.50	EPMAPS-QUITO
ADITIVO	4	Kg	34.00	BASF
FIBRAS	25	Kg	32.50	BASF

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Análisis de Costos Alternativa N°1

Tabla 4.26. Cantidades para 1 m³ Opción 1, utilizando 5 kg/m³ de Fibras Metálicas.

ANÁLISIS DE COSTOS ALTERNATIVA N°1

DOSIFICACIÓN AL PESO			DOSIFICACIÓN
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	
CEMENTO	625.85	kg	1.00
RIPIO	890.80	kg	1.42
AGUA	212.79	kg	0.34
ARENA	481.40	kg	0.77

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014

Tabla 4.27. Costos Unitarios de los materiales

COSTO UNITARIO DE LOS MATERIALES				
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO (\$)	FUENTE
CEMENTO	1	Kg	0.14	DISTRIB. CALDERÓN
AGREGADO GRUESO	1	m ³	13.50	CONSTRUARENAS
AGREGADO FINO	1	m ³	11.00	CONSTRUARENAS
AGUA	1	m ³	0.50	EPMAPS-QUITO
ADITIVO	1	Kg	8.50	BASF
FIBRAS	1	Kg	1.30	BASF

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014

Tabla 4.28. Costo Total Directo para fabricación de 1m³ de H.A.R, con 5 kg/m³ de Fibras Metálicas.

MATERIALES PARA UN METRO CÚBICO DE HORMIGÓN				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	C.UNITARIO	TOTAL
		A	B	C = A x B
CEMENTO	Kg	625.85	0.14	90.62
AGREGADO FINO	m ³	0.36	13.50	4.89
AGREGADO GRUESO	m ³	0.75	11.00	8.23
AGUA	m ³	0.21	0.50	0.11
ADITIVO	Kg	1.26	8.50	10.71
FIBRAS	Kg	5.00	1.30	6.50
COSTO DIRECTO (\$) =				121.06

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Análisis de Costos Alternativa N°2

Tabla 4.29. Cantidades para 1 m³ Opción 2, utilizando 15 kg/m³ de Fibras Metálicas.

ANÁLISIS DE COSTOS ALTERNATIVA N°2

DOSIFICACIÓN AL PESO			DOSIFICACIÓN
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	
CEMENTO	625.85	kg	1.00
RIPIO	890.80	kg	1.42
AGUA	212.79	kg	0.34
ARENA	481.40	kg	0.77

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014

Tabla 4.30. Costos Unitarios de los materiales

COSTO UNITARIO DE LOS MATERIALES				
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO (\$)	FUENTE
CEMENTO	1	Kg	0.14	DISTRIB. CALDERÓN
AGREGADO GRUESO	1	m ³	13.50	CONSTRUARENAS
AGREGADO FINO	1	m ³	11.00	CONSTRUARENAS
AGUA	1	m ³	0.50	EPMAPS-QUITO
ADITIVO	1	Kg	8.50	BASF
FIBRAS	1	Kg	1.30	BASF

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014

Tabla 4.31. Costo Total Directo para fabricación de 1m³ de H.A.R, con 15 kg/m³ de Fibras Metálicas.

MATERIALES PARA UN METRO CÚBICO DE HORMIGÓN				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	C.UNITARIO	TOTAL
		A	B	C = A x B
CEMENTO	Kg	625.85	0.14	90.62
AGREGADO FINO	m ³	0.36	13.50	4.89
AGREGADO GRUESO	m ³	0.75	11.00	8.23
AGUA	m ³	0.21	0.50	0.11
ADITIVO	Kg	1.26	8.50	10.71
FIBRAS	Kg	15.00	1.30	19.50
COSTO DIRECTO (\$) =				134.06

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Análisis de Costos Alternativa N°3

Tabla 4.32. Cantidades para 1 m³ Opción 3, utilizando 20 kg/m³ de Fibras Metálicas.

ANÁLISIS DE COSTOS ALTERNATIVA N°3

DOSIFICACIÓN AL PESO			DOSIFICACIÓN
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	
CEMENTO	625.85	kg	1.00
RIPIO	890.80	kg	1.42
AGUA	212.79	kg	0.34
ARENA	481.40	kg	0.77

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014

Tabla 4.33. Costos Unitarios de los materiales

COSTO UNITARIO DE LOS MATERIALES				
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO (\$)	FUENTE
CEMENTO	1	Kg	0.14	DISTRIB. CALDERÓN
AGREGADO GRUESO	1	m ³	13.50	CONSTRUARENAS
AGREGADO FINO	1	m ³	11.00	CONSTRUARENAS
AGUA	1	m ³	0.50	EPMAPS-QUITO
ADITIVO	1	Kg	8.50	BASF
FIBRAS	1	Kg	1.30	BASF

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014

Tabla 4.34. Costo Total Directo para fabricación de 1m³ de H.A.R, con 20 kg/m³ de Fibras Metálicas.

MATERIALES PARA UN METRO CÚBICO DE HORMIGÓN				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	C.UNITARIO	TOTAL
		A	B	C = A x B
CEMENTO	Kg	625.85	0.14	90.62
AGREGADO FINO	m ³	0.36	13.50	4.89
AGREGADO GRUESO	m ³	0.75	11.00	8.23
AGUA	m ³	0.21	0.50	0.11
ADITIVO	Kg	1.26	8.50	10.71
FIBRAS	Kg	20.00	1.30	26.00
COSTO DIRECTO (\$) =				140.56

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014

4.13 Selección de mejores resultados y/o nuevas mezclas de prueba.

Según los resultados obtenidos de los análisis técnicos y económicos del **capítulo 4.12.**, la mejor alternativa a seleccionar es la opción con 5 Kg/m^3 de fibras metálicas.

La mezcla de prueba seleccionada, cumple los dos parámetros fundamentales tanto técnicamente, como es su resistencia a los 28 días y demás características tales como su consistencia y trabajabilidad necesarias para los hormigones de alta resistencia (HAR), y además desde el punto de vista económico satisface las necesidades dentro del campo de la producción.

ANÁLISIS ECONÓMICO COMPARATIVO, PARA UN HORMIGÓN CONVENCIONAL Y UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA.

El análisis comparativo se realizará para un hormigón convencional de $f'c = 21 \text{ MPa}$ y un hormigón de alta resistencia $f'c = 40 \text{ MPa}$ ($f'cr = 55.17 \text{ MPa}$), que se presenta a continuación.

CUADRO COMPARATIVO DE COSTOS DIRECTOS

Tabla 4.35. Análisis económico comparativo, Hormigón convencional $f'c = 21 \text{ MPa}$ vs. Hormigón de alta resistencia $f'c = 40 \text{ MPa}$ ($f'cr = 55.17 \text{ MPa}$).

MATERIALES PARA UN METRO CÚBICO DE HORMIGÓN					
RESISTENCIA ESPECIFICADA		(A) f'c = 21.00 MPa *		(B) f'c = 40.00 MPa	
ANÁLISIS DE COSTOS					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	DOSIFICACIÓN	CANTIDAD	DOSIFICACIÓN
A DITIVOS	Kg	-	0.58	1.26	0.34
A GUA	m³	0.22		0.21	
A GREGA DO FINO	m³	0.53	2.29	0.36	0.77
A GREGA DO GRUESO	m³	0.71	2.47	0.75	1.42
CEMENTO ARMADURO ESPECIAL - LAFARGE	Kg	378.55	1.00	625.85	1.00
FIBRA S METÁLICAS	Kg	-	-	5.00	-
COSTO TOTAL (\$) =		94.59		121.06	
DIFERENCIA EN COSTOS (\$) =		26.47			

* Hormigón Premezclado.

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014

4.14 Conclusiones preliminares

- ✓ Para llegar a determinar la mezcla óptima, se realizaron varias opciones de dosificaciones, con las que se adquirió experiencia en cuanto a cantidades de materiales, proceso de mezclado, curado de las probetas cilíndricas y ensayos a la compresión, los que han sido utilizados para conocer cuáles son las características que presenta el hormigón en toda la etapa de producción, colocado y obtención de resultados.
- ✓ El control de calidad está ligado directamente a los resultados obtenidos del análisis de la desviación estándar, por lo que se concluye que es necesario tener de un número mayor de resultados de registros para la obtención de valores reales de su producción referida a la resistencia a la compresión simple.
- ✓ El aditivo Sikamente-N100 utilizado para la determinación experimental de uso de aditivos hiperfluidificantes de la sección 4.9, debe ser descartado como un aditivo para utilizar en climas de la parte sierra, ya que tienden a cristalizarse en un corto periodo de almacenaje, por tanto la producción de este aditamento químico será retirado del mercado por su incorrecto desempeño en la zona.
- ✓ La selección de la mezcla óptima cumple los parámetros de análisis desde el punto de vista técnico y económico, satisfaciendo su característica mecánica determinada por su resistencia requerida $f'_{cr} = 55.17 \text{ MPa}$ a la edad de 28 días.

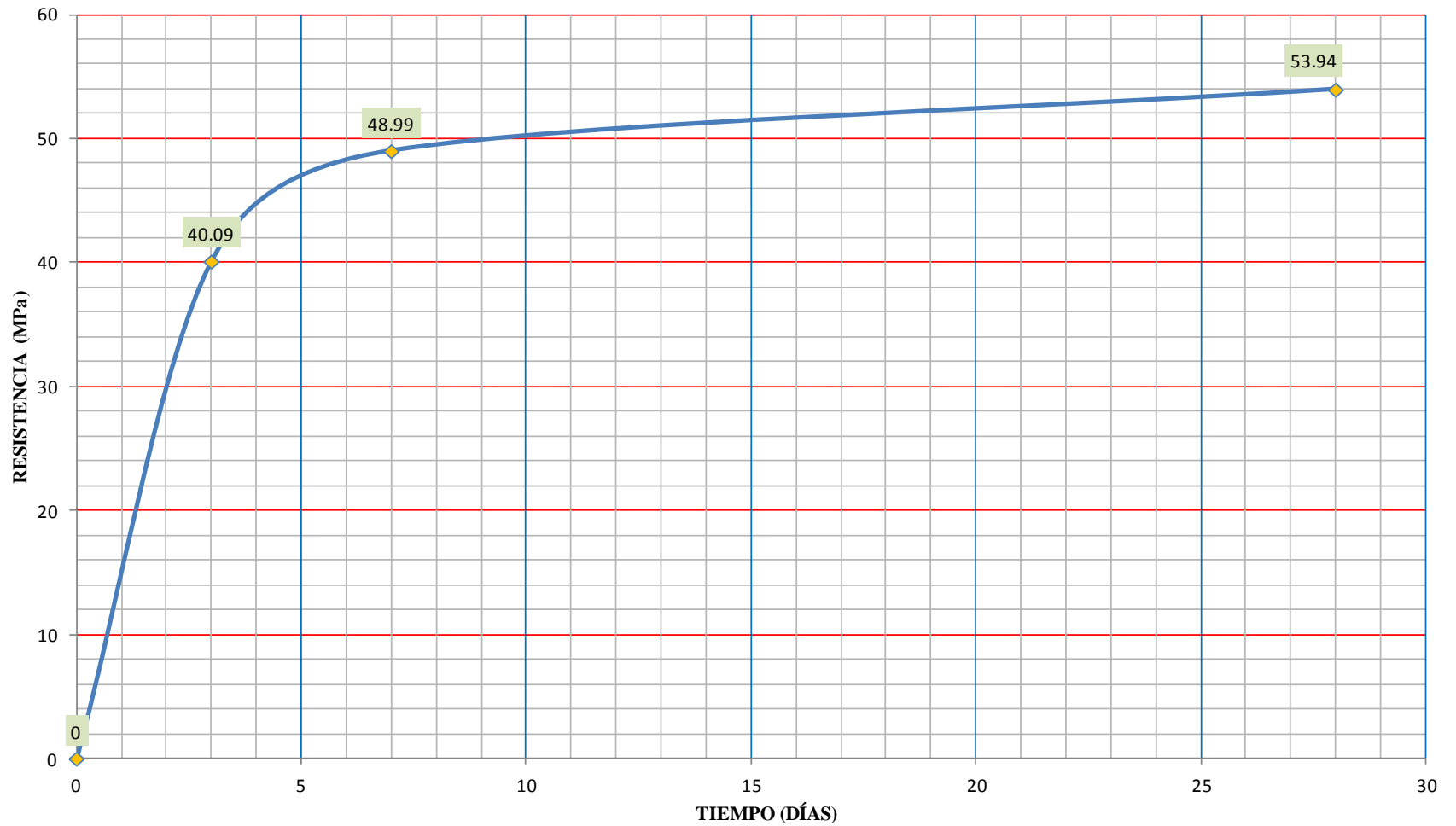
4.15 Curvas Tiempo versus Resistencia

Es necesario indicar mediante la Curva Tiempo versus Resistencia, la variabilidad que existe entre las opciones de mezcla, además cabe notar el incremento que obtiene el hormigón con el incremento del tiempo a los 3, 7 y 28 días de fraguado.

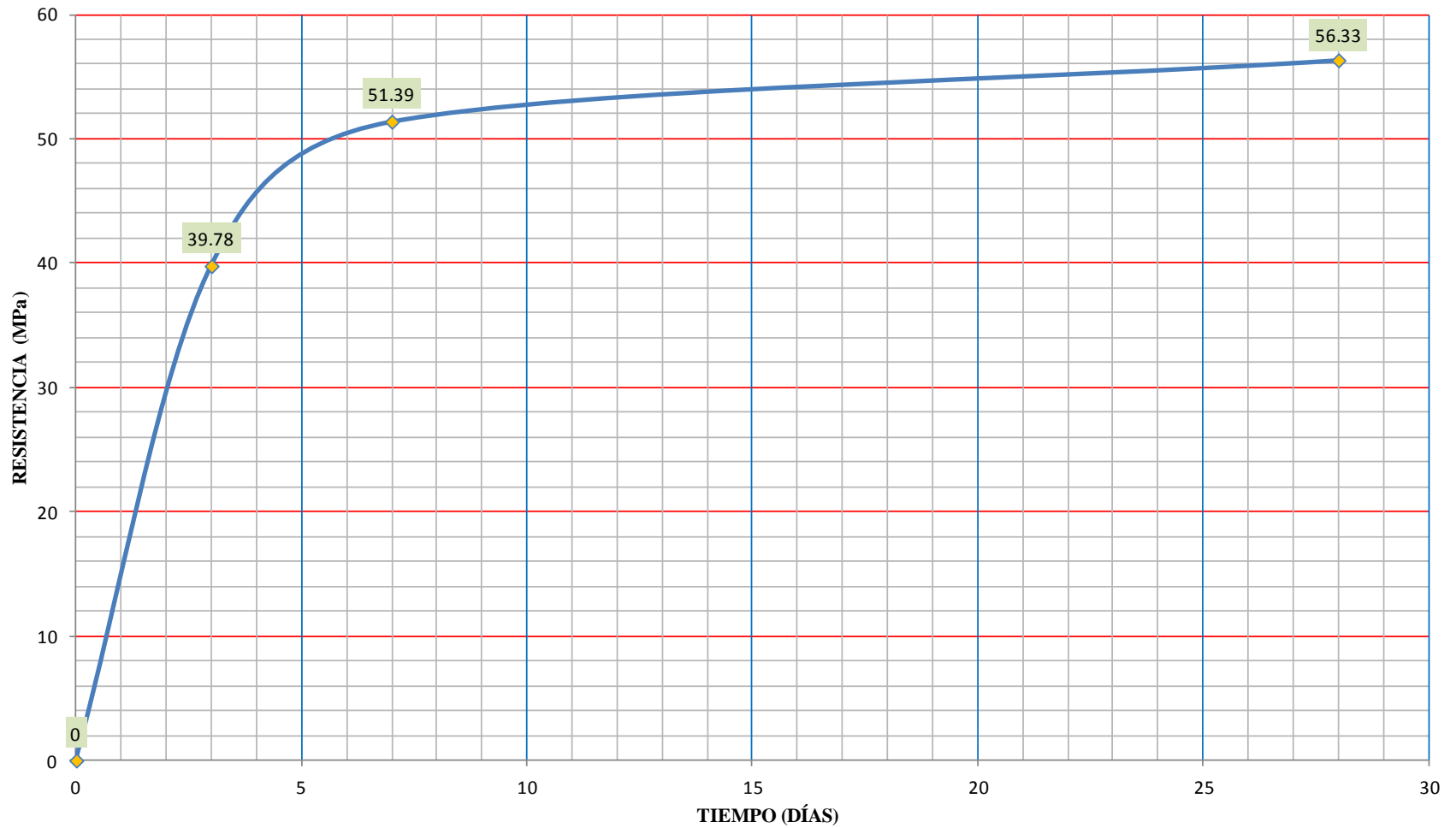
A continuación se muestran los Diagramas de las curvas Tiempo vs. Resistencia de las mezclas patrón realizadas y de las mezclas de prueba respectivamente.

CURVAS TIEMPO VS. RESISTENCIA
MEZCLAS PATRÓN

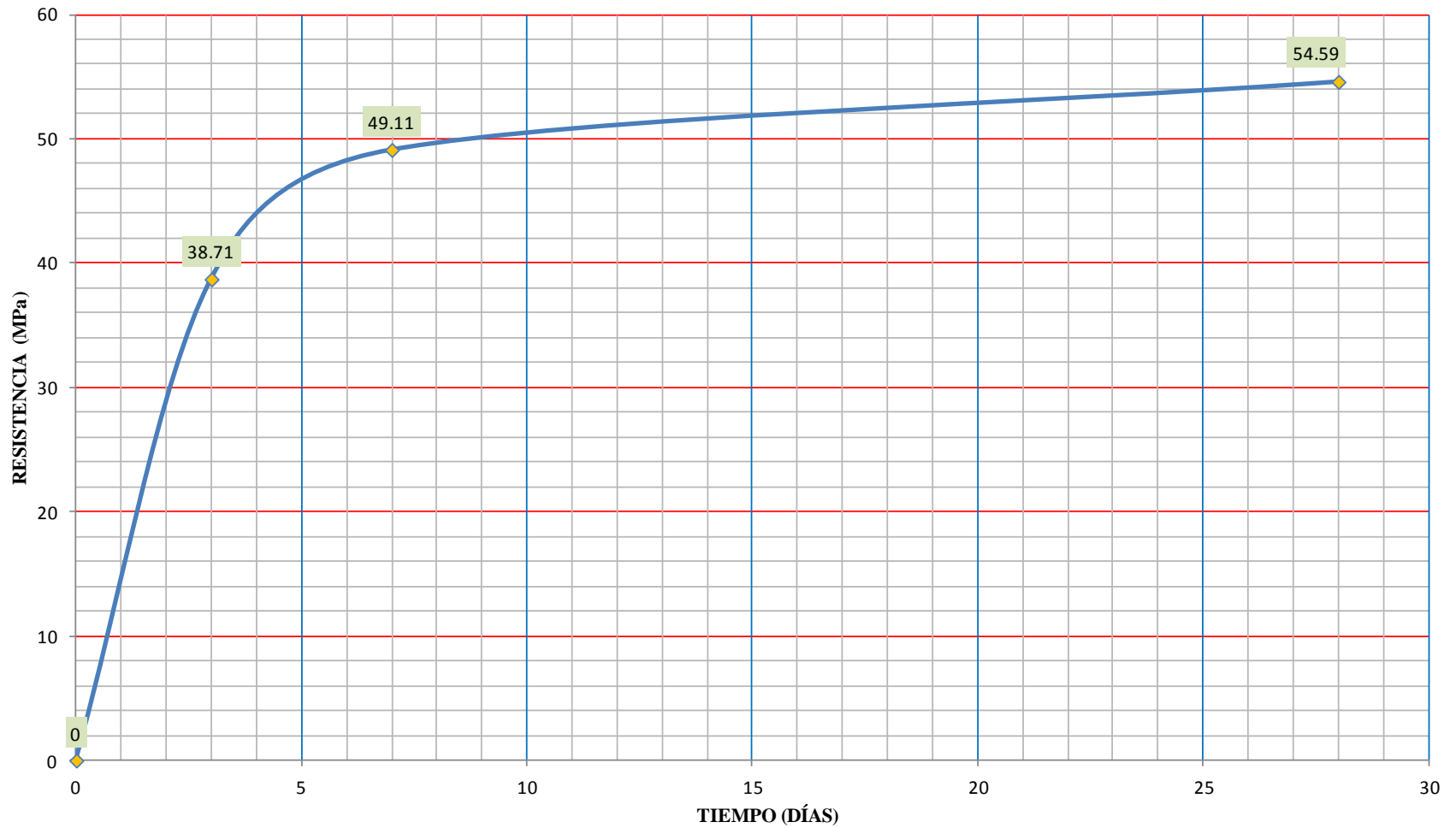
CURVA TIEMPO VS. RESISTENCIA MEZCLA PATRÓN CALCULADA



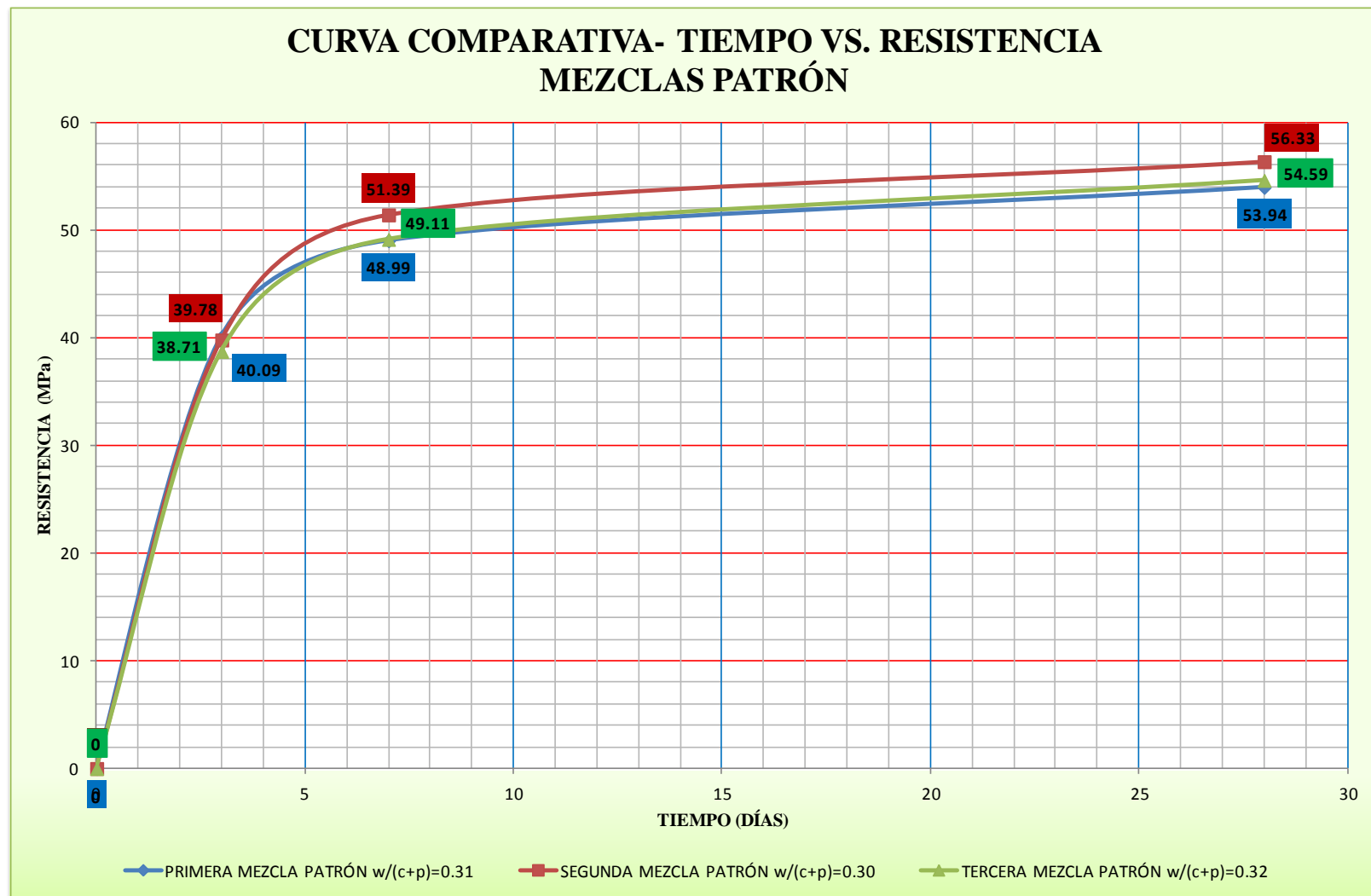
CURVA TIEMPO VS. RESISTENCIA MEZCLA PATRÓN REDUCIENDO RELACIÓN W/(C+P)



CURVA TIEMPO VS. RESISTENCIA MEZCLA PATRÓN AUMENTANDO RELACIÓN W/(C+P)

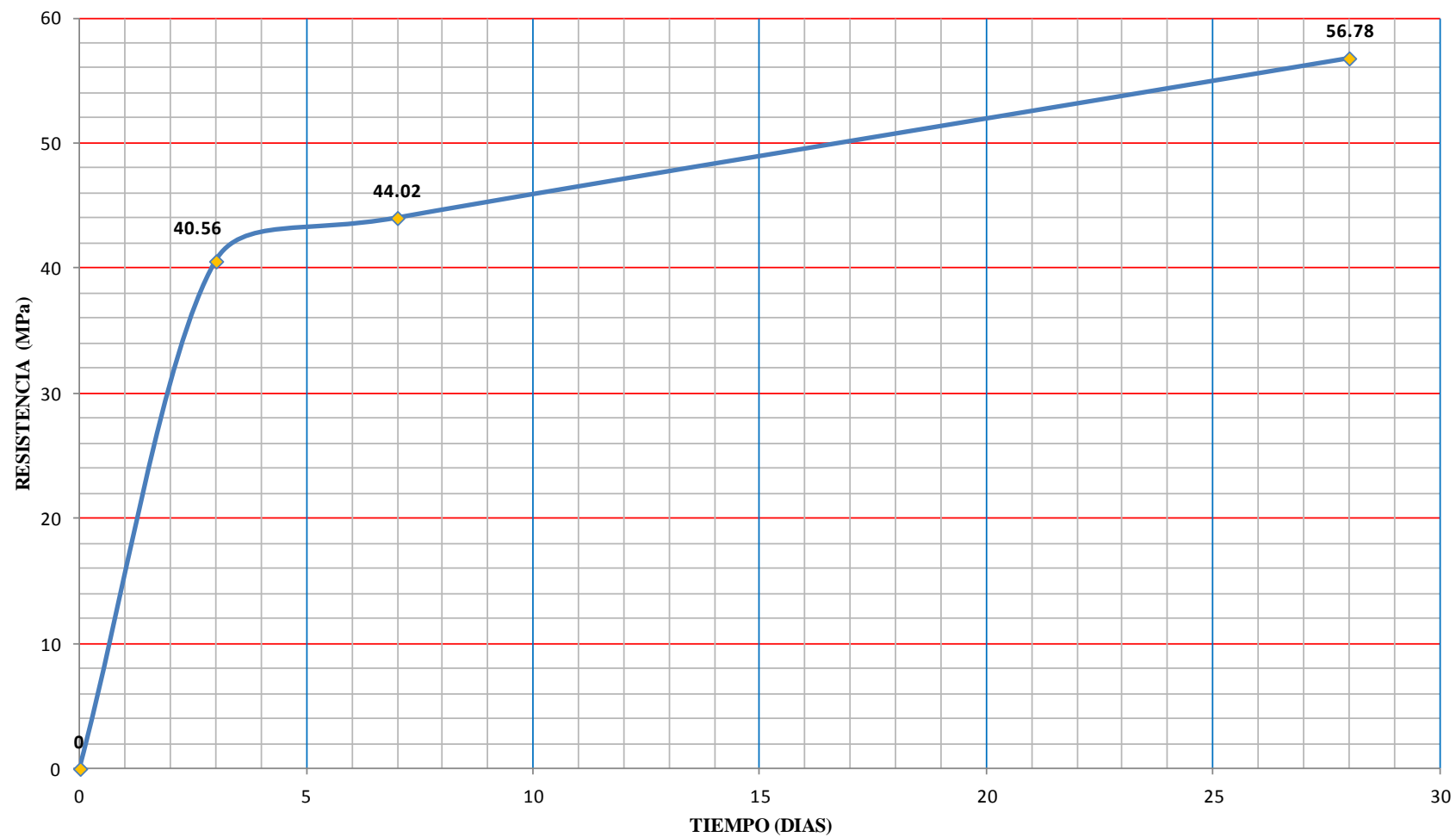


CURVA COMPARATIVA MEZCLAS PATRÓN.

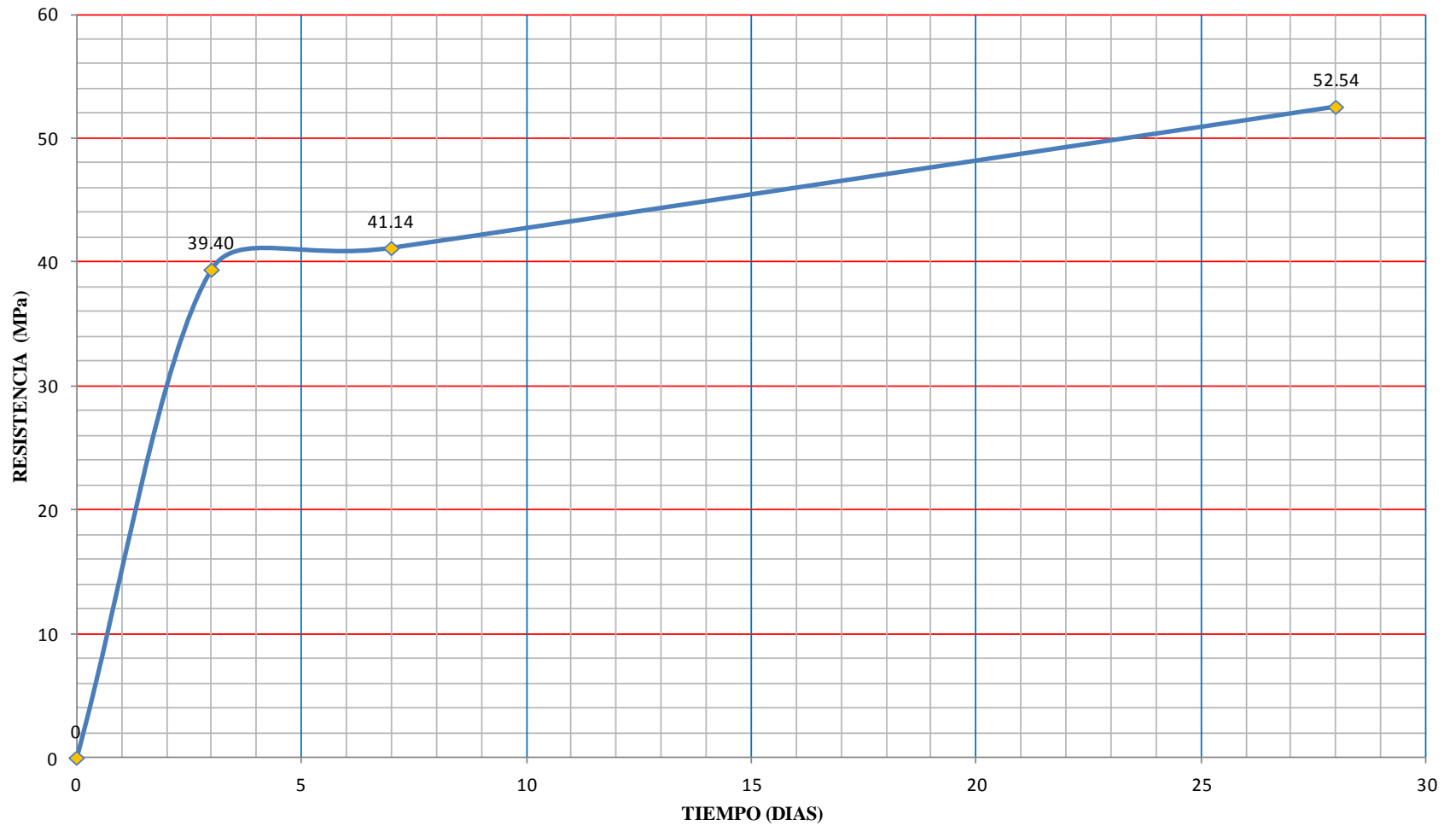


CURVAS TIEMPO VS. RESISTENCIA
MEZCLAS DE PRUEBA

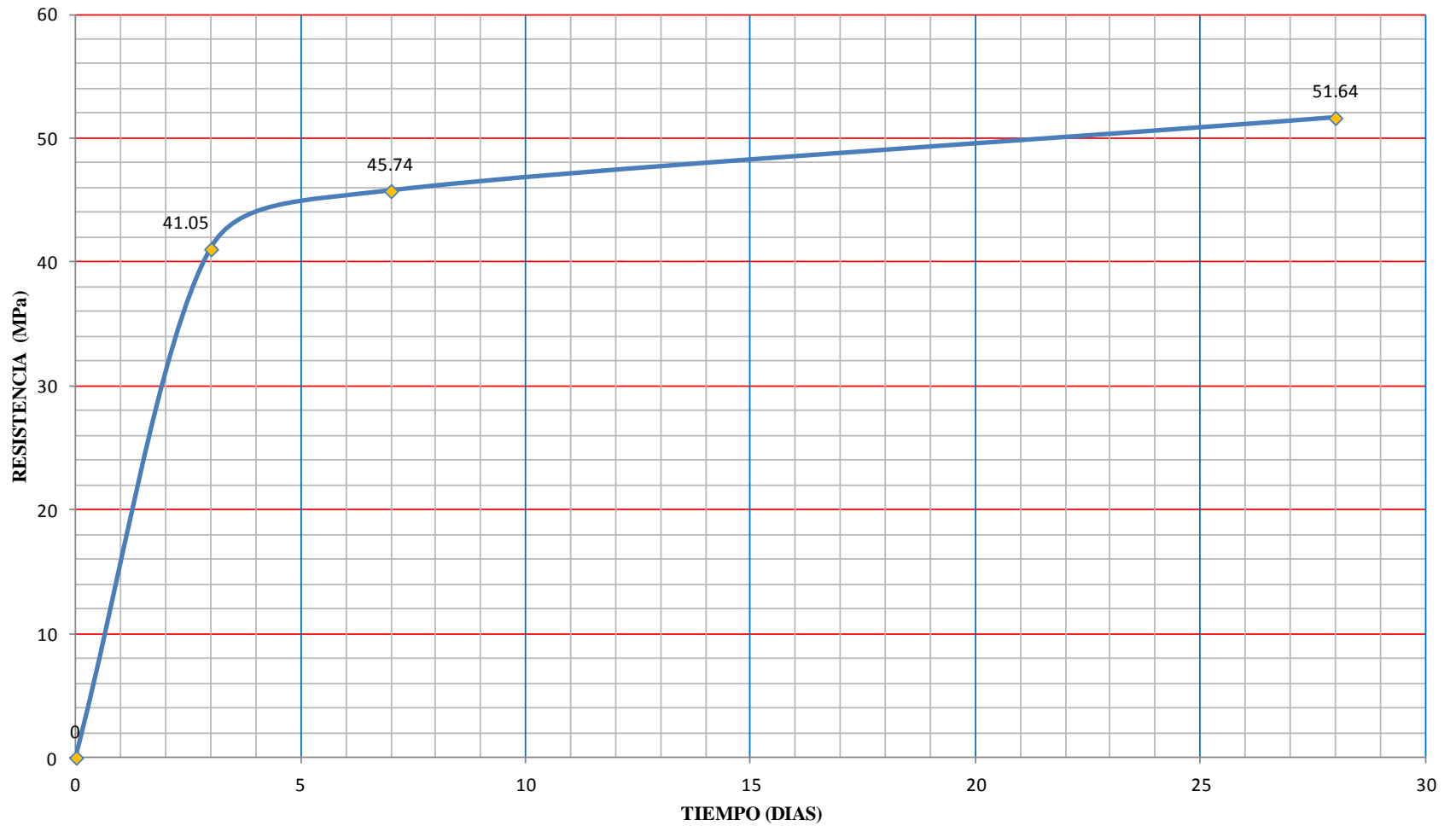
CURVA TIEMPO VS. RESISTENCIA PRIMERA ALTERNATIVA (5 Kg/m³ de Fibras Metálicas)



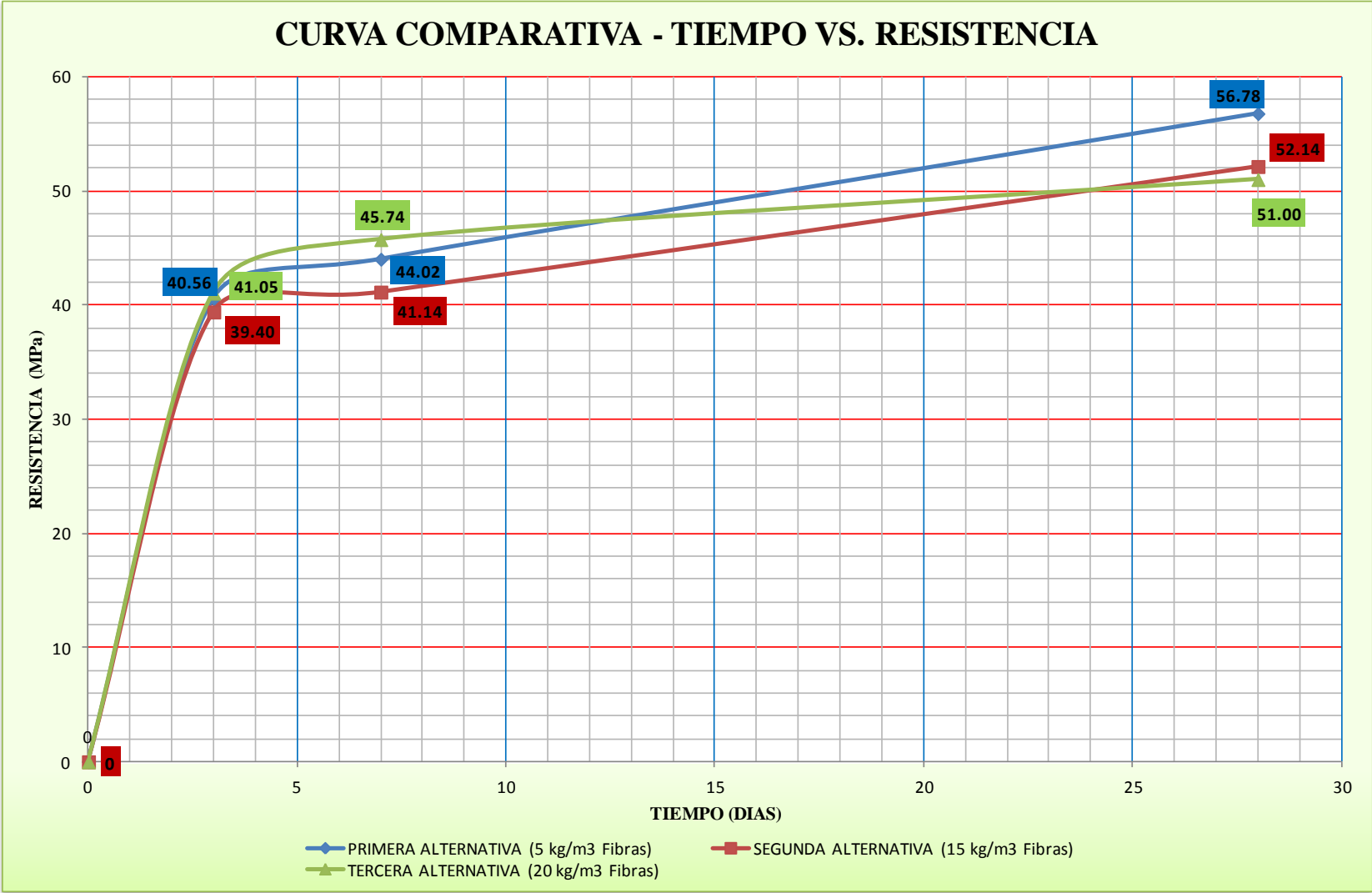
CURVA TIEMPO VS. RESISTENCIA SEGUNDA ALTERNATIVA (15 Kg/m³ de Fibras Metálicas)



CURVA TIEMPO VS. RESISTENCIA TERCERA ALTERNATIVA (20 Kg/m³ de Fibras Metálicas)



CURVA COMPARATIVA MEZCLAS DE PRUEBA.



4.16 Validación de la investigación

Para validar la presente investigación, es necesario establecer distintos argumentos fundamentados en la experiencia presentada hasta este punto como se indica en los siguientes puntos:

Los agregados utilizados del sector de Pifo tienen un correcto desempeño para la obtención de Hormigones de alta resistencia, siempre y cuando exista el control de calidad antes, durante y después de su producción, para cumplir el parámetro de mayor importancia, el cual es la resistencia a la compresión simple.

La utilización de un aditivo tanto químico y una adición mineral (GLENIUM 3000 NS y Fibras Metálicas), indistintamente de su dosificación, no genera ningún inconveniente en cuanto a trabajabilidad y mezclado de los componentes que conforman el hormigón, sin duda alguna generan el aumento mínimo en cuanto a su resistencia a la compresión a los 28 días de fraguado.

CAPÍTULO V

5. MEZCLAS DEFINITIVAS

Una vez validada la fase de las mezclas de prueba, se procede a realizar la mezcla definitiva con la alternativa óptima, tanto en los aspectos técnicos como económicos analizado anteriormente.

5.1 Diseño de mezclas definitivas

El diseño definitivo se basó en los resultados obtenidos en el capítulo IV, de manera que se escogió la primera opción en la que considera 5 kg/m^3 de fibras metálicas.

Según la norma ACI 211.4R-08 para el caso de hormigones de alta resistencia, la mezcla deberá ser diseñada para la obtención de 12 probetas a ser ensayadas a los 3, 7, 28 y 56 días, sin embargo en la sección del ACI 318-08 también se menciona un número de tres muestras por edad para las probetas de dimensiones de 10 x 20 cm.

Basándonos en la norma ACI 211.4R-08, el parámetro de diseño es obtenido según la resistencia a los 28 días de edad, sin embargo también se realizarán los ensayos a los 56 días de edad, a fin de tener un valor referencial, el cual nos orientará en cuanto al hormigón y su ganancia de resistencia con esta edad.

Fundamentado en lo explicado anteriormente, de forma seguida se indicará la opción con la cual se diseñará la mezcla definitiva seleccionada, resumida a partir de las cantidades determinadas para 1 m^3 de hormigón, como se indica en la **Tabla 5.1**.

Tabla 5.1. Cantidades para 1 m³, Mezcla Definitiva.

DOSIFICACIÓN AL PESO			DOSIFICACIÓN
MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	
CEMENTO	625.85	kg	1.00
RIPIO	890.80	kg	1.42
AGUA	212.79	kg	0.34
ARENA	481.40	kg	0.77
ADITIVO	0.15 % CON RELACIÓN AL PESO DEL CEMENTO		
FIBRAS METÁLICAS	5 kg/m ³		

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014

- Para determinar las cantidades para 12 cilindros requeridos, se toma como base las cantidades calculadas para un metro cúbico, como se indica a continuación.

# CILIND. DE PRUEB. :	12	#
-----------------------	-----------	---

RIPIO IMPUESTO :	24.00	Kg
------------------	-------	----

MATERIAL	CANTIDAD	UNIDAD	DOSIFICACIÓN
CEMENTO	16.86	kg	1.00
RIPIO	24.00	kg	1.42
AGUA	5.73	kg	0.34
ARENA	12.97	kg	0.77

En el capítulo IV se indicó el cálculo típico de la obtención de cada uno de los componentes del hormigón en función de las cantidades para 1 m³.

- Una vez obtenidas las cantidades que se necesitaran para la fabricación de los doce cilindros, se procede a la corrección por humedad de los agregados.

CORRECCION POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS:

DATOS:

MATERIAL	% de Abs.	% de Hum.
Unidad	%	%
Arena	2.29	0.06
Ripio	2.63	0.10

$$ARENA = W_{ARENA} * \left(\frac{100 + \% \text{ de Hum.}}{100 + \% \text{ de Absor.}} \right)$$

$$ARENA = 12.97 * \left(\frac{100 + 0.06}{100 + 2.29} \right)$$

ARENA=	12.7 Kg
--------	---------

$$AGUA = W_{ARENA} * \left(\frac{\% \text{ de Hum.} - \% \text{ de Absor.}}{100 + \% \text{ de Absor.}} \right)$$

$$AGUA = 12.97 * \left(\frac{0.06 - 2.29}{100 + 2.29} \right)$$

AGUA=	-0.28 Kg
-------	----------

$$RIPIO = W_{RIPIO} * \left(\frac{100 + \% \text{ de Hum.}}{100 + \% \text{ de Absor.}} \right)$$

$$RIPIO = 24.00 * \left(\frac{100 + 0.10}{100 + 2.63} \right)$$

RIPIO=	23.4 Kg
--------	---------

$$AGUA = W_{RIPIO} * \left(\frac{\% \text{ de Hum.} - \% \text{ de Absor.}}{100 + \% \text{ de Absor.}} \right)$$

$$AGUA = 24.00 * \left(\frac{0.10 - 2.63}{100 + 2.63} \right)$$

AGUA=	-0.59 Kg
-------	----------

$$AGUA \text{ DE CORRECCIÓN} = AGUA_{ARENA} + AGUA_{RIPIO}$$

CORRECCIÓN=	0.87 Kg
-------------	---------

➤ Resumen de cantidad de materiales, aditivos y fibra metálica; ya realizada la corrección por humedad.

Cantidades de material para producir 12 probetas cilíndricas de dimensiones de 10x20 cm.

Tabla 5.2. Cantidades de materiales corregidos

MATERIAL	CANTIDAD	DOSIFICACIÓN
AGUA	5.73 Kg	0.34
CEMENTO	16.86 Kg	1.00
ARENA	12.69 Kg	0.75
RIPIO	23.41 Kg	1.39

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014

Para determinar la cantidad de aditivo en la mezcla, es necesario recurrir a la experimentación de las demás mezclas obtenidas como guía, y además tomando como un parámetro el asentamiento a obtener que es de 6 ± 1 cm, sugerido por el tutor de la presente investigación.

“De este forma fue necesario recurrir a nuestra experiencia en la investigación con el aditivo GLENIUM 3000 NS, por ello se utilizó un porcentaje menor al del rango entre 0.40 – 0.80 % del peso del cemento, lo cual generó un correcto resultado”.

- Determinación de la cantidad de aditivo:

Dosificación Rendimiento:

200 - 400 cc por saco de cemento (0.40 - 0.80% del peso del cemento)

Densidad = 1.03 gr/cm³

Porcentaje = 0.20 %

$$Cantidad = \left(\frac{\% \text{ Aditivo}}{100} \right) * \text{Cantidad de cemento}$$

$$Cantidad = \left(\frac{0.20}{100} \right) * 16.86$$

Cantidad = 0.034 Kg

Cantidad = 33.72 gr

Volumen = 32.74 cm³

Volumen = 32.74 ml

- Cantidades Totales de material, y determinación de cantidad de fibra metálica a ser utilizada.

Cantidades Totales de material:

MATERIAL	CANTIDAD	VOLUMEN	DOSIFICACIÓN
AGUA	5.73 Kg	0.00573 m ³	0.34
CEMENTO	16.86 Kg	0.00556 m ³	1.00
ARENA	12.69 Kg	0.00503 m ³	0.75
RIPIO	23.41 Kg	0.00971 m ³	1.39
ADITIVO	33.00 ml	0.00003 m ³	—

Volumen Total Mezcla Definitiva= 0.02608 m³

Cantidad requerida de Fibras de Acero:

$$\text{Porcentaje de Fibras (\%)} = 5.0 \text{ Kg/m}^3$$

Cantidad de fibras = % de Fibras * Volumen Total de Mezcla Definitiva

$$\text{Cantidad de fibras} = 0.130 \text{ Kg}$$

$$\text{Cantidad de fibras} = 130.00 \text{ gr}$$

Resumen de Materiales a utilizar en la Mezcla Definitiva

UNIDAD	MATERIAL	CANTIDAD	DOSIFICACIÓN
lt	AGUA	5.73	0.34
kg	CEMENTO	16.86	1.00
kg	ARENA	12.69	0.75
kg	RIPIO	23.41	1.39
ml	ADITIVO	33.00	
gr	FIBRAS DE ACERO	130.00	

Para la utilización del aditivo como reductor de agua de alto rango, es necesario descontar de la cantidad de agua de corrección, como se explica:

Tabla 5.3. Cantidad de agua y aditivo para mezcla definitiva.

TOTAL AGUA DE MEZCLADO PARA DOCE PROBETAS			
AGUA DE DISEÑO	AGUA DE CORRECCIÓN	ADITIVO	TOTAL (kg)
5.73	0.87		—
5.73	0.84	0.033	6.61
6.57		0.033	6.61
AGUA A MEDIR		ADITIVO A MEDIR	

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014

MEZCLA DEFINITIVA

**CEMENTO ARMADURO ESPECIAL (LAFARGE), ADITIVO GLENIUM 3000 NS,
FIBRAS DE ACERO BASF(PRODUCCION NACIONAL) Y AGREGADOS DE PIPO.**

f_c = 40.0 MPa

f_{cr} = 55.17 MPa

% ADITIVO = 0.20 %

% FIBRAS = 5.0 Kg/m³

N° DE MUESTRAS : 12

UNIDAD	MATERIAL	CANTIDAD	TOTAL
lt	AGUA	5.73	6.57
lt	AGUA CORRECCION	0.84	
kg	CEMENTO	16.86	16.86
kg	ARENA	12.69	12.69
kg	RIPIO	23.41	23.41

ADITIVO: 33.00 ml

FIBRA ACERO: 130.00 gr

5.2 Ensayos de probetas a edades de 3, 7, 28 y 56 días

El ensayo de probetas a compresión está ligado directamente al control de calidad del hormigón, desde el inicio de la dosificación, mezclado y colocación del mismo, de acuerdo con las especificaciones.

Las muestras de cilindros de hormigón son sometidos a carga con incremento constante hasta que se ocasione la falla por rotura, con ello se determinará la resistencia, relacionando la carga total aplicada con la superficie de la cara axial de la probeta ensayada.

La obtención del esfuerzo de compresión se limita a hormigones que tengan un peso unitario mayor a 800 kg/m^3 (50 lb/pie^3).

Los resultados a la compresión obtenidos dependerán de la forma y tamaño del espécimen, la pasta del cemento, los procedimientos de mezcla, los métodos de muestreo, fabricación, la edad y las condiciones de humedad durante el curado.²⁴

Para el ensayo de las probetas cilíndricas debemos tomar como guía la norma ACI 211.4R.08, la que indica que para hormigones de alta resistencia es necesario ensayar a los 3, 7, 28 días de elaborado el hormigón, y determinando que a los 28 días de fraguado deberá llegar a la resistencia establecida.

Para los Hormigones de alta resistencia, puede considerarse ensayos adicionales luego de transcurridos los 28 días, por lo que se puede aprovechar esta particularidad ensayando a los 56 y 91 días, para conocer la resistencia que ha ganado a partir de los 28 días de elaborado el hormigón.²⁵

5.3 Resultados de ensayos a compresión simple.

A continuación se indica el resumen de los resultados obtenidos de los ensayos de compresión de la mezcla definitiva, conjuntamente con la densidad del hormigón fresco y hormigón endurecido.

²⁴ NORMA ASTM C-39 “Método de ensayo normalizado para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto”.

²⁵ ACI 211.4R-08, Capítulo 2 “Requisitos de desempeño”.

RESUMEN DE RESULTADOS

MEZCLA DEFINITIVA



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO DE HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA ($f'_c = 40$ MPa), UTILIZANDO AGREGADOS DEL SECTOR DE PIFO, FIBRAS METÁLICAS, CEMENTO LAFARGE ARMADURO ESPECIAL Y ADITIVOS HIPERFLUIDIFICANTES.
RESUMEN DE RESULTADOS A LA COMPRESIÓN – MEZCLA DEFINITIVA.**

FIBRAS DE ACERO: 5 Kg/m³ % DE ADITIVO: 0.20 %

Fecha: 14 de Abril de 2014

$f_{cr} = 55.17$ MPa

Norma: NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C - 39)

Muestra N°.	Fecha de Realización	Fecha de Ensayo	E dad	Diámetro Promedio	Área de Cilindro	Altura Promedio	Volumen	Peso Fresco	Peso Endurecido	Carga	Resistencia Compresión	Promedio	Porcentaje	Densidad Promedio Hormigón Fresco	Densidad Promedio Hormigón Endurecido
			Días	cm	cm ²	cm	dm ³	kg	kg	kg	MPa	MPa	%	Kg/dm ³	Kg/dm ³
1	14/04/2014	17/04/2014	3	10.53	87.14	20.10	1.75	3.95	3.95	37840	42.57	43.38	78.63	2.26	2.26
2	14/04/2014	17/04/2014		10.27	82.78	19.97	1.65	3.75	3.74	36280	42.97				
3	14/04/2014	17/04/2014		10.27	82.78	20.00	1.66	3.76	3.75	37660	44.60				
4	14/04/2014	21/04/2014	7	10.30	83.32	19.97	1.66	3.73	3.73	40420	47.56	47.84	86.71	2.23	2.22
5	14/04/2014	21/04/2014		10.23	82.25	20.03	1.65	3.68	3.67	39800	47.44				
6	14/04/2014	21/04/2014		10.30	83.32	20.37	1.70	3.74	3.74	41230	48.51				
7	14/04/2014	12/05/2014	28	10.33	83.86	20.40	1.71	3.92	3.93	48580	56.79	55.50	100.61	2.27	2.28
8	14/04/2014	12/05/2014		10.23	82.25	20.37	1.68	3.78	3.78	46290	55.18				
9	14/04/2014	12/05/2014		10.20	81.71	20.13	1.65	3.73	3.74	45460	54.54				
10	14/04/2014	09/06/2014	56	10.53	87.14	20.20	1.76	3.76	3.93	48990	55.12	53.90	97.70	2.12	2.21
11	14/04/2014	09/06/2014		10.60	88.25	20.13	1.78	3.76	3.82	46150	51.27				
12	14/04/2014	09/06/2014		10.53	87.14	20.17	1.76	3.69	3.92	49170	55.32				

Asentamiento= 3.5 cm

5.4 Tratamiento Estadístico de Resultados

El tratamiento estadístico de los datos, está constituido por acciones que consisten en la aplicación de procedimientos matemáticas sobre el conjunto de datos observados, obteniendo como resultado otro conjunto de datos, cuyos elementos son números que representan diversas propiedades.

El tratamiento estadístico se fundamenta en determinar en función de observaciones obtenidas, las conclusiones científicamente fundamentadas por intermedio de cálculos matemáticos estadísticos.

El hormigón es un material que contiene componentes heterogéneos que se amalgaman entre sí y al ser sometidos a ensayos presentan variaciones en sus resultados.

La aceptabilidad de uno o varios grupos de observaciones obtenidas, no debe limitarse solo con aquellos hormigones en los que los ensayos indiquen valores iguales o superiores a la resistencia de diseño esperada.²⁶

La aceptabilidad de hormigón, por norma, es evaluada con los ensayos a compresión a los 28 días, pero basándose no solo en los resultados de los ensayos, sino de la posible regularidad de la producción del hormigón y de las exigencias, las cuales se derivan en función de la importancia y tipo de la obra, sobre los límites de aceptabilidad.

La característica de la resistencia del hormigón puede ser estimada con una razonable exactitud cuando se tiene un número suficiente de pruebas, de acuerdo con las prácticas estándar y métodos de ensayo.²⁷

El tratamiento estadístico para esta investigación se realizará con 15 muestras a la edad de 28 días, los cuales deben tener similar composición y producción. De esta manera por tener un número de muestras a 30, lo que recomienda el código ACI214R-02, el enfoque que se realicen a los resultados debe ser más conservador, tanto para la desviación

²⁶ Inecyc “Control de calidad del Hormigón” Parte I, pág. 9.

²⁷ ACI 214R-02, “Evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia del hormigón”.

estándar que debe ser aumentada hasta en un 15% para tener en cuenta la incertidumbre en la estimación de la desviación estándar.

Para determinar la desviación estándar, es de suma importancia tomar en cuenta que los datos u observaciones que representan a la mezcla de concreto, deben ser similares en calidad y condiciones, las cuales deben tener una resistencia a la compresión que no difiera en más de 6,9 MPa (1000 psi) a partir de la resistencia requerida f'_{cr} .

Para el hormigón de alta resistencia se obtienen mejores resultados, calculando el coeficiente de variación, que no es otra cosa que la desviación estándar expresada como porcentaje de la resistencia media. Este coeficiente es afectado en menor proporción por la magnitud de las ventajas obtenidas, siendo de mayor utilidad para comparar el grado de control para su resistencia.²⁸

De esta manera se procederá a determinar esta variación de datos en función de los procedimientos estadísticos como se indica a continuación.

DESVIACIÓN ESTÁNDAR

La desviación estándar es un índice numérico de la dispersión de un conjunto de observaciones obtenidas. Es catalogada como una medida del grado de dispersión de los datos respecto al valor promedio.

La determinación de la desviación estándar, está relacionada directamente a el modelo teórico con el que se va a evaluar, tal es el caso que si la media aritmética de las medidas está demasiado alejada de la predicción (distancia medida en desviación estándar), entonces consideramos que las medidas contradicen la teoría expuesta.²⁹

La desviación estándar de la muestra se obtiene por la ecuación (3-2a), o por su equivalente algebraico (3-2b). Para la investigación presente se utilizará la segunda equivalente algebraica para minimizar errores de redondeo y hacer la explicación más simplificada.

²⁸ ACI C 363.2R-98 “Guía para el Control y Verificación de la Calidad del Hormigón de Alta Resistencia”

²⁹ http://es.wikipedia.org/wiki/Desviaci%C3%B3n_t%C3%ADpica.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (3 - 2a)$$

$$s = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Su equivalente algébrico aplicable para muestras pequeñas, como es este caso es

$$s = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n(n - 1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - n\bar{X}^2}{n - 1}} \quad (3 - 2b)$$

Donde,

- s es la desviación estándar de la muestra,
- n es el número de resultados de la prueba de resistencia en el registro,
- \bar{X} es la media aritmética de los registros,
- $\sum X$ es la suma de los resultados de la prueba de resistencia.

Una vez explicadas las ecuaciones, se las aplicará para nuestros registros de datos de la mezcla.

CUADRO DE RESULTADOS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
NÚMERO DE MUESTRAS (n)	EDAD (DÍAS)	CARGA (Kg)	RESISTENCIA REQUERIDA f'_{cr} (MPa)
1	28	46290	52.74
2		42350	49.19
3		44060	50.53
4		48240	54.62
5		43630	53.47
6		48690	53.88
7		42540	49.10
8		44040	49.55
9		44930	51.52
10		45920	52.66
11		48940	54.71
12		45520	52.87
13		45290	51.94
14		46100	52.86
15		47570	55.25

✓ **Cálculo de Desviación Estándar.**

n	X_i	\overline{X}	$(X_i - \overline{X})^2$
1	52.74	52.33	0.175
2	49.19		9.834
3	50.53		3.246
4	54.62		5.251
5	53.47		1.312
6	53.88		2.428
7	49.10		10.442
8	49.55		7.722
9	51.52		0.646
10	52.66		0.110
11	54.71		5.698
12	52.87		0.298
13	51.94		0.153
14	52.86		0.289
15	55.25		8.569
$\Sigma =$			56.174

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{56.174}{15-1}} = \sqrt{\frac{56.174}{14}} = \sqrt{4.0124}$$

$$s = 2.003 \text{ MPa}$$

✓ **Cálculo de la Varianza.**

$$\sigma = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

$$\sigma = \frac{1}{15} * (56.174)$$

$$\sigma = 3.74 \text{ MPa}$$

✓ **Cálculo de Coeficiente de Variación.**

Para determinar el grado de aceptación del hormigón fabricado, es necesario el cálculo del coeficiente de variación en función de la siguiente tabla.

Tabla 5.4. Grado de aceptabilidad del Coeficiente de Variación.

ESTANDARES DE CONTROL DE HORMIGÓN					
VARIABLE GLOBAL					
CLASES DE OPERACIÓN	COEFICIENTE DE VARIACIÓN PARA DIFERENTES NORMAS DE CONTROL (%)				
	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	POBRE	MALO
PRUEBAS DE CONSTRUCCIÓN	< 3	3 a 4	4 a 5	5 a 6	> 6
LOTES DE PRUEBA DE LABORATORIO	< 2	2 a 3	3 a 4	4 a 5	> 5
f'c > 34.5 MPa					

Fuente: ACI C 214.R, pág. 6

$$V = \frac{s}{\bar{X}} * 100$$

$$V = \frac{2.003}{52.33} * 100$$

$$V = 3.83 \%$$

De acuerdo a la **Tabla 5.4**, el coeficiente de variación para lotes de prueba de laboratorio esta en el rango entre 3 a 4, lo cual se considera como BUENO.

✓ **Cálculo de Valores máximos y mínimos aceptables.**

$$X_{m\acute{a}x/m\acute{i}n} = \bar{X} \pm s$$

$$X_{m\acute{a}x} = \bar{X} + s = 52.33 + 2.003$$

$$X_{m\acute{a}x} = 54.33 \text{ MPa}$$

$$X_{m\acute{i}n} = \bar{X} - s = 52.33 - 2.003$$

$$X_{m\acute{i}n} = 50.32 \text{ MPa}$$

Tabla 5.5. Cuadro de resumen de resultados, Desviación Estándar

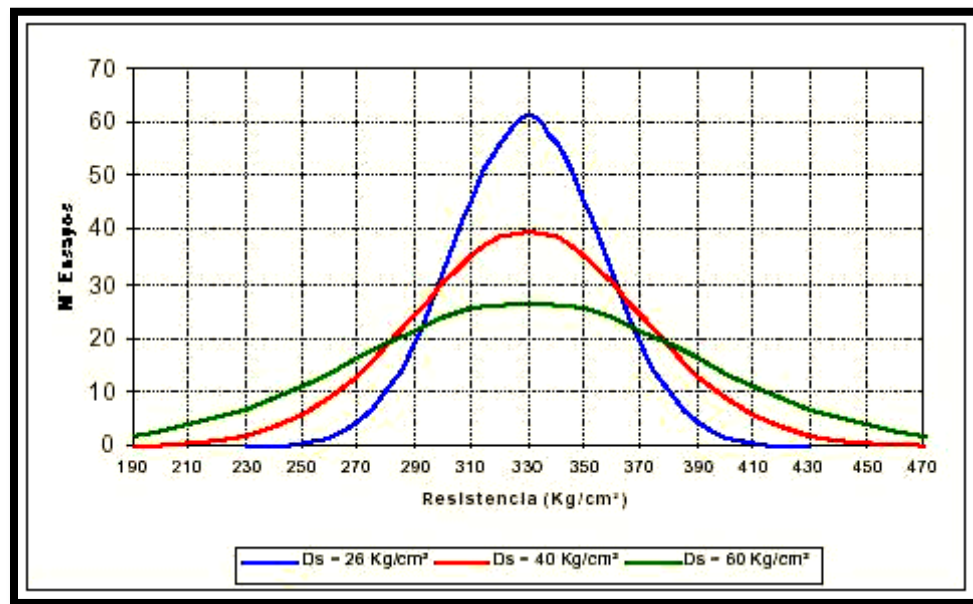
RESUMEN DE RESULTADOS			
DENOMINACIÓN	VALOR	UNIDADES	OBSERVACIÓN
MEDIA ARITMÉTICA (\bar{X})	52.33	MPa	
DESVIACION ESTÁNDAR (s)	2.00	MPa	
VALOR MÁXIMO (X _{máx})	54.33	MPa	
VALOR MÍNIMO (X _{mín})	50.32	MPa	
COEFICIENTE DE VARIACION (V)	3.83	%	BUENO
VARIANZA (σ)	3.74	MPa	

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014

Los resultados obtenidos de los ensayos de compresión tiene una distribución de frecuencias que se ajusta a la denominada distribución normal, distribución gauss o campana de Gauss, que de acuerdo a su forma nos orienta a determinar el control de calidad con el que se ha fabricado la mezcla.

La campana de Gauss dependerá de la Desviación Estándar, resistencia promedio y los datos obtenidos de los ensayos de compresión, donde la forma y tamaño dependerá de la Desviación estándar, teniendo en cuenta que a medida que aumenta la Desviación estándar, ese grado de dispersión que existe en la resistencia de las probetas es mayor, para lo cual tiende a alejarse del promedio que tienen los registros de ensayos.

GRÁFICO 5.1. Curva Distribución Normal



Fuente: Tecnología del concreto, “Criterios ACI 318”

Ecuación 5.1. Ecuación matemática “Campana de Gauss”

$$y = f(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\bar{x}}{s}\right)^2}$$

Fuente: http://www.ditutor.com/distribucion_normal/campana_gauss.html



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DISTRIBUCIÓN NORMAL GAUSSIANA

DE MUESTRAS TOTAL: 15

EDAD DE LA MUESTRA: 28 DÍAS

RESUMEN DE RESULTADOS		
DENOMINACIÓN	VALOR	UNIDADES
NÚMERO DE MUESTRAS	15	
MEDIA ARITMÉTICA (\bar{X})	52.33	MPa
DESVIACION ESTÁNDAR (s)	2.00	MPa
VARIANZA (σ)	3.74	MPa

Tabla5.6. Resultados de Distribución Normal

n	RESISTENCIA REQUERIDA Xi (MPa)	$\frac{1}{s\sqrt{2\pi}}$	$\left(\frac{X_i - \bar{X}}{s}\right)^2$	$e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{X_i - \bar{X}}{s}\right)^2}$	y	y (%)
1	52.74	0.199	0.044	0.978	0.195	19.49
2	49.19		2.451	0.294	0.058	5.85
3	50.53		0.809	0.667	0.133	13.29
4	54.62		1.309	0.520	0.104	10.35
5	53.47		0.327	0.849	0.169	16.91
6	53.88		0.605	0.739	0.147	14.72
7	49.10		2.602	0.272	0.054	5.42
8	49.55		1.925	0.382	0.076	7.61
9	51.52		0.161	0.923	0.184	18.38
10	52.66		0.027	0.986	0.196	19.65
11	54.71		1.420	0.492	0.098	9.79
12	52.87		0.074	0.964	0.192	19.19
13	51.94		0.038	0.981	0.195	19.54
14	52.86		0.072	0.965	0.192	19.21
15	55.25		2.136	0.344	0.068	6.85

Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

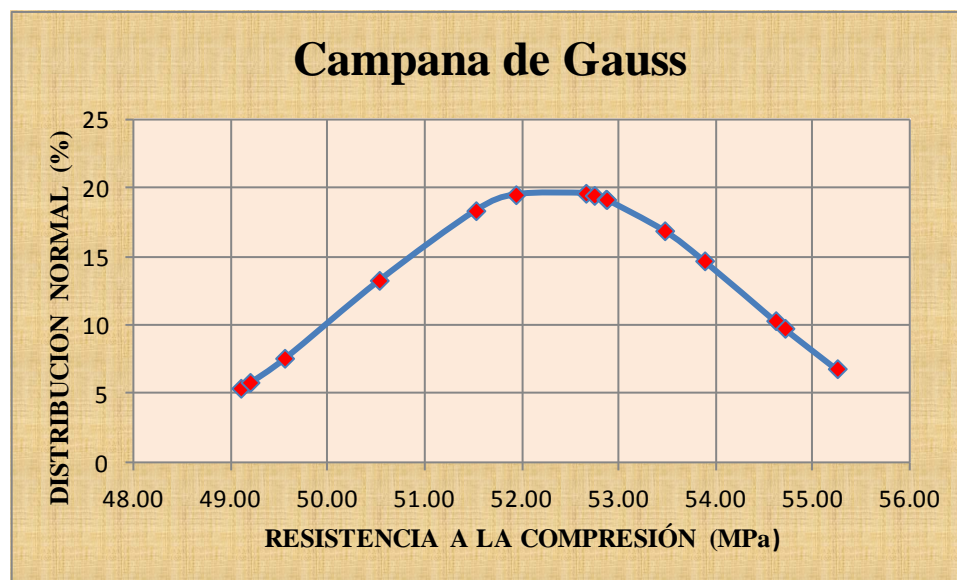
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

GRÁFICO DE CAMAPANA DE GAUSS

$$y = f(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\bar{x}}{s}\right)^2}$$

Ecuación del Diagrama Representativo.

GRÁFICO 5.2. Distribución Normal o Campana de Gauss



Fuente: RODRÍGUEZ Santiago, 2014

Nota.- Los valores que conforman son muy dispersos en cuanto a su media, por tanto es necesario mayor número de registros de ensayos para observar de una forma clara el diagrama indicado.

Resistencias Características³⁰

“La resistencia a compresión simple es la característica mecánica de mayor importancia en el hormigón. Su determinación se efectúa mediante el ensayo de probetas según métodos normalizados.

Los valores obtenidos de los ensayos de las distintas probetas de la misma mezcla de hormigón son dispersos en más o en menos, lo cual será en función del cuidado y rigor con que se elabore el hormigón, lo cual debe tenerse en cuenta al tratar de definir un cierto hormigón por su resistencia.

Para entenderse de una forma más concisa, se tienen n resultados obtenidos al ensayar a compresión simple probetas cilíndricas de un mismo hormigón en donde se desea determinar un valor que sea representativo de la serie y, por consiguiente, del propio hormigón.

Tradicionalmente podría adoptarse la media aritmética (f'_{cm}) como un valor representativo de las n roturas, llamada resistencia media, pero este valor no refleja la verdadera calidad del hormigón en obra, al no tener en cuenta la dispersión de la serie. El adoptar la resistencia media como base de los cálculos conduce a coeficientes de seguridad variables según la calidad de la ejecución.

Para la eliminación de inconvenientes y conseguir coeficientes de seguridad homogéneos, se ha adoptado el concepto de resistencia característica del hormigón, que es una medida estadística que tiene en cuenta no solo el valor de la media aritmética f'_{cm} de las roturas de las n probetas, sino además de la desviación estándar o coeficiente de variación de la serie de observaciones.

La resistencia característica (f'_{ck}), del hormigón es aquel valor que presenta un grado de confianza del 95 por ciento, es decir, que existe una probabilidad de 0.95 de que se presenten valores individuales de resistencia de probetas más altos que f'_{ck} .”

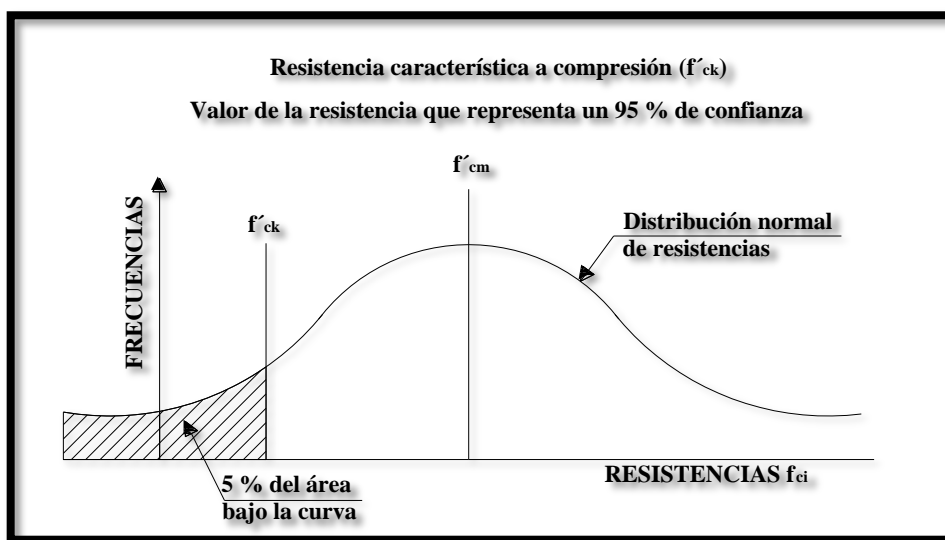
³⁰ MONTOYA JIMENES P. “Hormigón Armado Tomo 1. Quinta Edición, pág. 85.

❖ Según Montoya – Meseguer – Morán

Se determinará la resistencia característica tomando en cuenta los datos obtenidos de los ensayos, la media aritmética, la desviación estándar o coeficiente de variación de la serie de valores, suponiendo una distribución normal (gaussiana) de los totales de los registros constituidos por la resistencia de infinitas probetas de un mismo hormigón.

La resistencia característica f'_{ck} viene ligada a la resistencia f'_{cm} , según la distribución normal representada a continuación:

Figura 5.1. Distribución normal Gaussiana, Resistencia característica del Hormigón.



Fuente: MONTOYA-MESEGUER-MORÁN, pág. 86, Catorceava Edición

Ecuaciones para determinación de resistencia característica:

$$f'_{ck} = f'_{cm} * (1 - 1.64 * \delta)$$

Ecuación 5.2. Resistencia Característica

Donde,

δ , es el coeficiente de variación de la población.

f'_{ck} , es la resistencia característica.

f'_{cm} , es la resistencia media o media aritmética.

$$f'_{cm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

Ecuación 5.3. Media Aritmética

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{f'_{ci} - f'_{cm}}{f'_{cm}} \right)^2}$$

Ecuación 5.4. Coeficiente de Variación



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL HORMIGÓN

SEGÚN MONYOYA - MESEGUER - MORÁN

DE MUESTRAS TOTAL: 15

EDAD DE LA MUESTRA: 28 DÍAS

RESUMEN DE RESULTADOS		
DENOMINACIÓN	VALOR	UNIDADES
NÚMERO DE MUESTRAS	15	
MEDIA ARITMÉTICA $(\bar{X}) = f'_{cm}$	52.33	MPa

n	RESISTENCIA REQUERIDA Xi (MPa)	$\left(\frac{X_i - f'_{cm}}{f'_{cm}}\right)^2$	δ (ADIMENSIONAL)
1	52.74	0.0000638	0.0370
2	49.19	0.0035915	
3	50.53	0.0011854	
4	54.62	0.0019178	
5	53.47	0.0004792	
6	53.88	0.0008866	
7	49.10	0.0038137	
8	49.55	0.0028203	
9	51.52	0.0002360	
10	52.66	0.0000401	
11	54.71	0.0020811	
12	52.87	0.0001089	
13	51.94	0.0000559	
14	52.86	0.0001056	
15	55.25	0.0031296	
$\Sigma =$		0.0205156	



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL HORMIGÓN

SEGÚN MONYOYA - MESEGUER - MORÁN

DE MUESTRAS TOTAL: 15

EDAD DE LA MUESTRA: 28 DÍAS

CUADRO DE RESULTADOS		
DENOMINACIÓN	VALOR	UNIDADES
NÚMERO DE MUESTRAS	15	-
MEDIA ARITMÉTICA (f'_{cm})	52.33	MPa
DESVIACION ESTÁNDAR (s)	2.00	MPa
RESISTENCIA CARACTERÍSTICA (f'_{ck})	49.15	MPa
VALOR MÁXIMO ($f'_{ck.máx}$)	51.16	MPa
VALOR MÍNIMO ($f'_{ck.mín}$)	47.15	MPa
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (V)	3.83	%

$$f'_{ck.máx} = f'_{ckm} + s$$

$$f'_{ck.mín} = f'_{ckm} - s$$

$$f'_{ckm} = f'_{ck}$$

❖ **Según Oscar Padilla**

Para este método es necesario cumplir ciertos requerimientos para poder utilizar las fórmulas que se indicaran seguidos de la explicación.

Para la determinación característica del hormigón, es necesario ordenar los datos de forma descendente de mayor a menor, ordenarlos en dos grupos que debe ser de número par, caso contrario, es decir se tuviese grupo de número impar, se eliminará en valor intermedio, para obtener dos grupos pares.

La ecuación utilizada en este método es la siguiente:

$$f'_{ck} = 2 * f'_{cm1} - f'_{cm2}$$

Ecuación 5.5. Resistencia Característica, Oscar Padilla

Donde,

f'_{ck} : Resistencia Característica.

f'_{cm1} : Media Aritmética de resistencia a la compresión (Grupo 1).

f'_{cm2} : Media Aritmética de resistencia a la compresión (Grupo 2).

Se determinarán los valores mínimos y máximos en función de la resistencia característica determinada y la desviación estándar.

$$f'_{ck.máx} = f'_{ckm} + s$$

$$f'_{ck.mín} = f'_{ckm} - s$$

$$f'_{ckm} = f'_{ck}$$



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL HORMIGÓN

SEGÚN OSCAR PADILLA

DE MUESTRAS TOTAL: 15

EDAD DE LA MUESTRA: 28 DÍAS

CUADRO DE RESULTADOS SEGÚN OSCAR PADILLA					
Valores Generales Ordenados		Grupo 1		Grupo 2	
n	RESISTENCIA REQUERIDA X_i (MPa)	n	RESISTENCIA REQUERIDA X_{i1} (MPa)	n	RESISTENCIA REQUERIDA X_{i2} (MPa)
1	55.25	1	55.25	8	52.66
2	54.71	2	54.71	9	51.94
3	54.62	3	54.62	10	51.52
4	53.88	4	53.88	11	50.53
5	53.47	5	53.47	12	49.55
6	52.87	6	52.87	13	49.19
7	52.86	7	52.86	14	49.10
8	52.74				
9	52.66				
10	51.94				
11	51.52				
12	50.53				
13	49.55				
14	49.19				
15	49.10				
		f'cm1=	53.95	f'cm2=	50.64



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL HORMIGÓN

SEGÚN OSCAR PADILLA

DE MUESTRAS TOTAL: 15

EDAD DE LA MUESTRA: 28 DÍAS

CUADRO DE RESULTADOS		
DENOMINACIÓN	VALOR	UNIDADES
NÚMERO DE MUESTRAS (n)	15	-
MEDIA ARITMÉTICA (f'_{cm})	52.33	MPa
DESVIACION ESTÁNDAR (s)	2.00	MPa
RESISTENCIA CARACTERÍSTICA (f'_{ck})	57.27	MPa
VALOR MÁXIMO ($f'_{ck.máx}$)	59.27	MPa
VALOR MÍNIMO ($f'_{ck.mín}$)	55.27	MPa
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (V)	3.83	%

❖ **Según Saliger**

Fundamentado en la sumatoria de los resultados de los ensayos a compresión, con la determinación de su respectiva media aritmética adoptando el 75% de la misma para la determinación de la resistencia característica, utilizando la siguiente expresión.

$$f'_{ck} = 0.75 * f'_{cm}$$

Ecuación 5.6. Resistencia característica, Saliger

Donde,

f'_{ck} : Resistencia Característica del Hormigón.

f'_{cm} : Resistencia promedio general.

Los valores máximos y mínimos serán calculados en función de la desviación estándar.

$$f'_{ck.máx} = f'_{ckm} + s$$

$$f'_{ck.mín} = f'_{ckm} - s$$

$$f'_{ckm} = f'_{ck}$$



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL HORMIGÓN

SEGÚN SALIGER

DE MUESTRAS TOTAL: 15

EDAD DE LA MUESTRA: 28 DÍAS

Cuadro de Resultados Según Saliger	
n	RESISTENCIA REQUERIDA Xi (MPa)
1	52.74
2	49.19
3	50.53
4	54.62
5	53.47
6	53.88
7	49.10
8	49.55
9	51.52
10	52.66
11	54.71
12	52.87
13	51.94
14	52.86
15	55.25
f'cm =	52.33



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL HORMIGÓN

SEGÚN SALIGER

DE MUESTRAS TOTAL: 15

EDAD DE LA MUESTRA: 28 DÍAS

CUADRO DE RESULTADOS		
DENOMINACIÓN	VALOR	UNIDADES
NÚMERO DE MUESTRAS (n)	15	-
MEDIA ARITMÉTICA (f'_{cm})	52.33	MPa
DESVIACION ESTÁNDAR (s)	2.00	MPa
RESISTENCIA CARACTERÍSTICA (f'_{ck})	39.25	MPa
VALOR MÁXIMO ($f'_{ck.máx}$)	41.25	MPa
VALOR MÍNIMO ($f'_{ck.mín}$)	37.24	MPa
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (V)	3.83	%

❖ **Según La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC2011)**

La norma NEC recomienda tener un registro de al menos 30 ensayos o caso contrario contar con mínimo 15 resultados de ensayos individuales a la compresión simple, para con ellos determinar la desviación estándar.

Para la determinación de la resistencia característica se toma como base la resistencia especificada y la desviación estándar.

Las ecuaciones a utilizar se encuentran en la siguiente tabla, la cual es utilizada en las normas NEC y el ACI318-08.

Tabla 5.7. Resistencia característica, Norma Ecuatoriana de la Construcción

Resistencia Promedio a la Compresión requerida cuando hay datos disponibles para establecer una Desviación Estándar de la Muestra.	
Resistencia especificada a la Compresión, f'_c (MPa)	Resistencia promedio requerida a la Compresión, f'_{cr} (MPa)
≤ 35	$f'_{cr} = f'_c + 1.34s$
	$f'_{cr} = f'_c + 2.33s - 3.5$
> 35	$f'_{cr} = f'_c + 1.34s$
	$f'_{cr} = 0.90f'_c + 2.33s$

Fuente: NEC-11 Capítulo 4, pág. 26

De no poseer un registro de datos u observaciones mayores a 30 registros, es necesario hacer una corrección utilizando los factores de modificación indicados en la siguiente Tabla.

Tabla 5.8. Corrección para datos estadístico menores a 30 ensayos

Factores de Modificación para la Desviación Estándar de la muestra cuando se dispone de menos de 30 ensayos.	
# de Ensayos	Factor de Modificación (k)
Menos de 15	N.A
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o más	1.00

Fuente: NEC-11 Capítulo 4, pág. 26

Según lo explicado anteriormente, para nuestra investigación se utilizarán las siguientes expresiones para el cálculo de la resistencia requerida.

Resistencia Promedio a la Compresión requerida cuando hay datos disponibles para establecer una Desviación Estándar de la Muestra.	
Resistencia especificada a la Compresión, $f'c$ (MPa)	Resistencia promedio requerida a la Compresión, $f'cr$ (MPa)
> 35	$f'cr = f'c + 1.34s$
	$f'cr = 0.90f'c + 2.33s$

Donde,

$f'cr$ = Resistencia requerida (MPa)

$f'c$ = Resistencia especificada (obtenida en función del $f'cr$)

s = Desviación estándar

k = Factor de modificación

- Determinación de la Desviación Estándar (s), en función de \bar{X} y $f'cr$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Ecuación 5.7. Desviación Estándar

Donde,

X_i : Ensayos individuales de probetas cilíndricas

\bar{X} : Media Aritmética

n : Número de registros de ensayos

s : Desviación Estándar

- Cálculo de la resistencia especificada (f'_c).

$$f'_{cr} = f'_c + 9.65$$

$$f'_c = f'_{cr} - 9.65$$

El diseño se realizó para el $f'_c = 40$ Mpa. La resistencia requerida $f'_{cr} = 55.17$ MPa, la cual se determinó en función de la expresión indicada en el código ACI 211.4R-08 (ACI 318-08), pero tomado en cuenta el factor de 0.90 de manera que sea un factor de seguridad para el diseño, justificando que el hormigón será realizado en obra.

$$f'_c = 55.17 - 9.65$$

$$f'_c = 45.52 \text{ MPa}$$



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL HORMIGÓN

SEGÚN NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN NEC 2011

DE MUESTRAS TOTAL: 15

EDAD DE LA MUESTRA: 28 DÍAS

DETERMINACIÓN DE DESVIACIÓN ESTÁNDAR				
n	RESISTENCIA REQUERIDA Xi (MPa)	MEDIA ARITMÉTICA \bar{X} (MPa)	$(X_i - \bar{X})^2$ (MPa)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR s (MPa)
1	52.74	52.33	0.17	2.00
2	49.19		9.83	
3	50.53		3.25	
4	54.62		5.25	
5	53.47		1.31	
6	53.88		2.43	
7	49.10		10.44	
8	49.55		7.72	
9	51.52		0.65	
10	52.66		0.11	
11	54.71		5.70	
12	52.87		0.30	
13	51.94		0.15	
14	52.86		0.29	
15	55.25		8.57	
$\Sigma =$			56.17	



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL HORMIGÓN

SEGÚN NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN NEC 2011

DE MUESTRAS TOTAL: 15

EDAD DE LA MUESTRA: 28 DÍAS

DESIGNACIÓN		VALOR	UNIDAD
# DE DATOS (n)	15.00	15	----
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (s)	2.00	2.00	MPa
FACTOR DE MODIFICACIÓN (k)	1.16	1.16	----
RESISTENCIA ESPECIFICADA (f'_c)	$f'_c = f'_{cr} - 9.65$	45.52	MPa
RESISTENCIA CARACTERÍSTICA (f'_{ck})	$f'_{ck} = f'_c + 1.34 \text{ ks}$	48.63	MPa
	$f'_{ck} = 0.90f'_c + 2.33 \text{ ks}$	46.38	MPa
RESISTENCIA CARACTERÍSTICA SELECCIONADA (f'_{ck})	$f'_{ck} = f'_c + 1.34 \text{ ks}$	48.63	MPa



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DEL HORMIGÓN

RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS

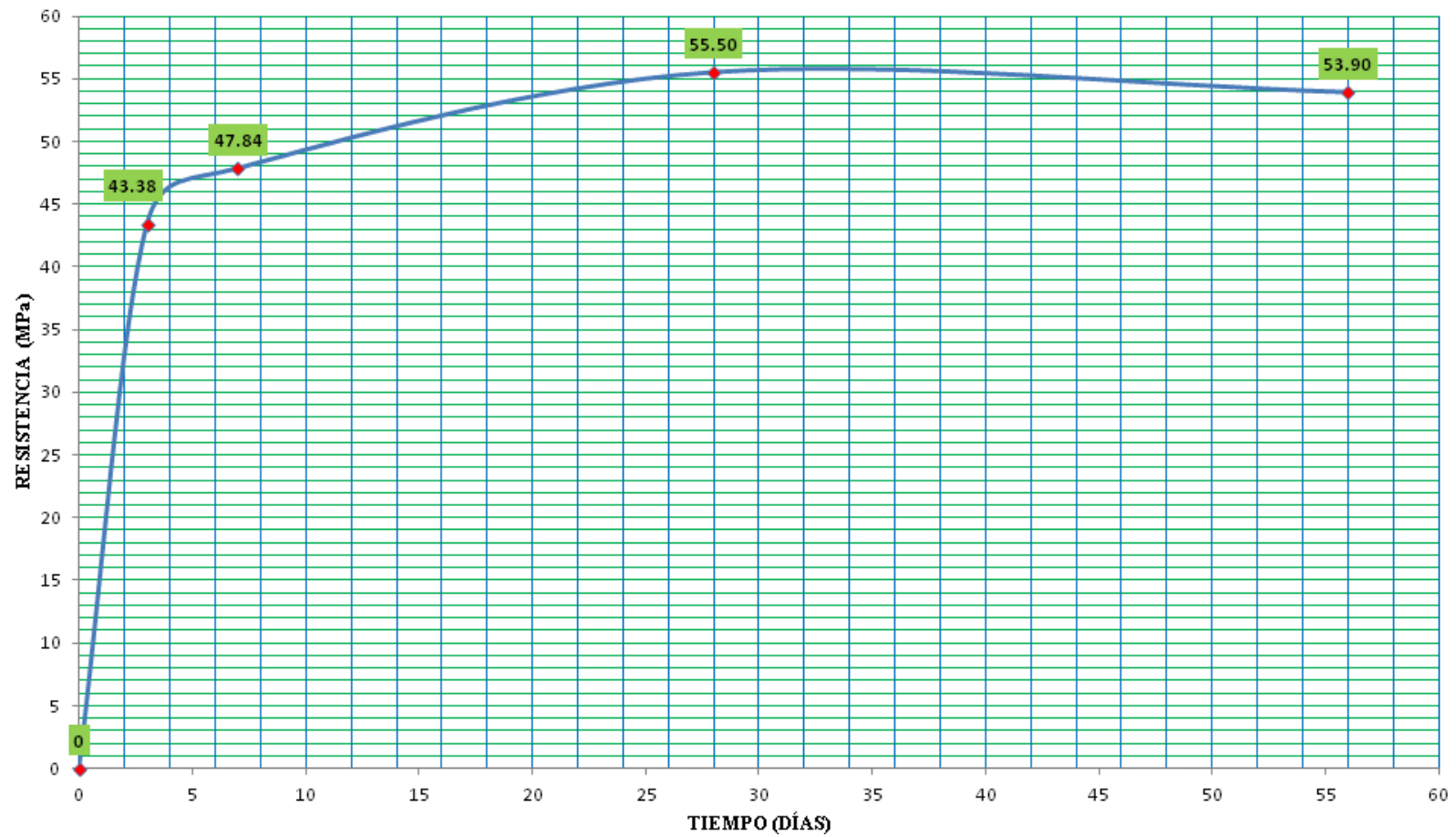
DE MUESTRAS TOTAL: 15

EDAD DE LA MUESTRA: 28 DÍAS

<i>RESUMEN DE RESULTADOS</i>		
<i>MÉTODO</i>	<i>VALOR</i>	<i>UNIDAD</i>
<i>MONTOYA-MESEGUER-MORÁN</i>	<i>49.15</i>	<i>MPa</i>
<i>OSCAR PADILLA</i>	<i>57.27</i>	<i>MPa</i>
<i>SALIGER</i>	<i>39.25</i>	<i>MPa</i>
<i>NEC 2011</i>	<i>48.63</i>	<i>MPa</i>

5.5 Curvas Tiempo versus Resistencia

**CURVA TIEMPO VS. RESISTENCIA
MEZCLA DEFINITIVA**



CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

1. Los agregados que proceden de la Cantera “Construarenas” de Pifo, analizados en la presente investigación son materiales que cumplen satisfactoriamente con las propiedades físico – mecánicas para la obtención de hormigones de alta resistencia, tomando en cuenta que deben cumplir con el control de calidad adecuado mediante los ensayos realizados en la investigación.

2. La dosificación óptima que satisface las propiedades mecánicas, físicas y económicas, cumpliendo con la resistencia requerida $f'_{cr} = 55.17$ MPa con resistencia especificada $f'_c = 40$ MPa, fabricada con agregados del sector de Pifo, cemento Armaduro especial, aditivos Hiperfluidificantes y fibras metálicas es la que se indica a continuación:

MATERIALES PARA 1 m³ DE HORMIGÓN - $f'_{cr} = 55.17$ MPa

DOSIFICACIÓN AL PESO				DOSIFICACIÓN
MATERIAL		CANTIDAD	UNIDAD	
CEMENTO	LAFARGE ARMADURO-ESPECIAL	625.85	kg	1.00
RIPIO	CONSTRUARENAS	890.80	kg	1.42
AGUA	AGUA POTABLE	212.79	kg	0.34
ARENA	CONSTRUARENAS	481.40	kg	0.77
ADITIVO	BASF-GLENIUM 3000 NS	0.15 % CON RELACIÓN AL PESO DEL CEMENTO		
FIBRAS METÁLICAS	BASF - PRODUCCIÓN NACIONAL	5 kg/m ³		

3. El orden óptimo de mezclado fué el siguiente: primero se coloca el ripio, la arena, posteriormente se adiciona el 10% del agua de mezclado para hidratar las partículas de los áridos, luego de ello se coloca toda la cantidad de fibras metálicas, permitiendo que se mezclen uniformemente los tres componentes durante 2 minutos hasta obtener la correcta distribución de las fibras, colocar el

cemento y de forma seguida añadir la cantidad restante de agua de mezclado (75%) y por último de forma inmediata es colocada el agua de corrección (agua + aditivo) (15 %), dejando mezclar por 4 minutos para que el aditivo reaccione de una forma adecuada para con ello evitar la formación de pelotas o grumos de masa de hormigón.

4. La metodología de diseño de hormigones de alta resistencia utilizada en la investigación, propuesta por el ACI, cumplió satisfactoriamente las necesidades para la obtención de una dosificación válida para la fabricación de un hormigón de resistencia requerida $f'_{cr} = 55.17$ MPa en base de una resistencia especificada f'_c de 40 MPa.
5. Las mezclas patrón fueron utilizadas como guía para determinar hasta que resistencia podría llegar con un hormigón a la edad de 28 días sin la adición de ningún aditivo químico ni mineral, y con ello realizar las modificaciones necesarias en cuanto a mezclado y vertido del mismo para la obtención de mejores resultados mecánicos y físicos en las mezclas de prueba y definitiva.
6. Es necesario analizar que tomado en cuenta los resultados de las tres mezclas de prueba las cuales tiene cantidades distintas de fibras metálicas y una misma dosificación, tienen como resultado distintas resistencias a la compresión, tal es el caso que la mezcla que contiene menor cantidad de fibras (5 kg/m^3) presenta el 102.91% de la resistencia requerida de diseño.
7. La utilización del aditivo GLENIUM 3000 NS conjuntamente con el cemento ARMADURO ESPECIAL, tienen una compatibilidad adecuada en el desenvolvimiento de la elaboración de la mezcla, pese a no ser de la misma casa comercial.
8. Realizando una comparación con los resultados obtenidos de su resistencia a la compresión simple entre la mezcla patrón y la mezcla definitiva, se concluye que la inclusión de un aditivo químico (GLENIUM 3000 NS) y la adición de las

fibras metálicas (BASF-PRODUCCIÓN NACIONAL), incrementan la resistencia en apenas un 6 % en comparación de la mezcla patrón y en un 0.61 % de la resistencia a la edad de 28 días para la cual fue diseñada.

9. Con el uso de fibras metálicas se obtiene un hormigón que impide el desarrollo de fisuras y más bien un comportamiento de ductilidad mejorado, salvaguardando la trabajabilidad de la mezcla.
10. Las fibras metálicas actúan en la masa de hormigón como elementos rígidos, de gran área superficial y geometría esbelta, lo que de alguna manera mejora las propiedades en estado endurecido y exigiendo modificaciones para la fabricación, transporte, compactación y acabado.
11. Desde el punto de vista de hormigón en masa, el adicionar fibras a la mezcla tiene una importancia dentro del costo total de fabricación, lo que incita a optimizar la dosificación a ser utilizada con la cantidad estrictamente necesaria de fibras metálicas, para de esta manera el material a producir sea conveniente comercialmente.
12. La inclusión de fibras metálicas a la masa de hormigón genera la resistencia a los impactos por la absorción de energía, generando conjuntamente una menor tendencia a la desfragmentación y desprendimiento de las partículas que conforman la muestra cilíndrica de hormigón.
13. La distribución de las fibras en la masa de hormigón es homogénea siempre y cuando se utilicen métodos de vibración externa para evitar la concentración masiva de las mismas en un solo punto, lo que generaría un incorrecto desempeño del mismo.
14. Desde el punto de vista de durabilidad, el adicionar fibras metálicas a el hormigón genera comportamientos mecánicos, como el de presentar mayor

número de fisuras con menores valores de abertura, lo cual es un dato importante para requerimientos de durabilidad.

15. Para la obtención de un tratamiento estadístico que se apegue mas a la realidad, es necesario contar con un mayor número de registros de ensayos, para conocer la ventaja y desventaja de producción del hormigón tomando como parámetro principal el control de calidad del mismo.
16. Es necesario concluir que en el análisis de costos de producción, no se toma en cuenta la cantidad de agua potable requerida para lavar los agregados y dejarlos en condiciones de uso, por lo que esta variable influenciaría directamente en el incremento del costo total de producción del hormigón, generando un encarecimiento para su comercialización.
17. La cantidad de agua necesaria para lavar muy bien los agregados, y dejarlos en condiciones óptimas de uso representa un 22.70 % de incremento al costo por m^3 de hormigón a producir, lo cual es explicado con los análisis respectivos en la presente investigación.
18. En el capítulo 4.13 se realizó la comparación de costos totales por m^3 entre el hormigón convencional de $f'c = 21$ MPa y el hormigón de alta resistencia determinado en la presente investigación de $f'c = 40$ MPa ($f'cr = 55.17$ MPa), se concluye que el hormigón de alta resistencia es 28.00 % más costoso por metro cúbico (m^3) que el hormigón convencional, lo cual es justificado por su diferencia en cuanto a la resistencia a la compresión simple a obtenerse, por la adición de aditivos hiperfluidificantes y la adición de fibras metálicas.
19. Refiriéndome al estudio realizado por Patricia Mármol “Hormigones con fibras de Acero, características mecánicas”, la resistencia a cortante de los hormigones con fibras de acero permite un comportamiento dúctil de las estructuras, de ello se determina que en el caso de terremotos disminuyen los daños sobre las mismas, pero las fibras de acero no sustituyen al acero convencional en la mayoría de sus aplicaciones, lo cual es muy importante.

6.2 RECOMENDACIONES

- 1.** Es necesario que los agregados sean muy bien lavados con agua potable, previamente a ser utilizados, ya que es importante retirar la materia orgánica existente en su superficie, para que exista una correcta consolidación de la masa de hormigón a fabricar.
- 2.** Utilizar adecuadamente las normas estipuladas por el ACI o INEN, ya que de ello dependerá el control de calidad con el que se producirá el hormigón.
- 3.** Es necesario utilizar un cemento fabricado con fechas recientes próximas a su utilización tanto en ensayos como mezclas, para que no se presenten variaciones a lo largo de los resultados y ensayos requeridos.
- 4.** Para realizar los ensayos de compresión simple, es necesario utilizar cinta de embalaje para recubrir los cilindros de hormigón, evitando así una explosión brusca la cual puede generar lesión a las personas que se encuentran a sus alrededores.
- 5.** Se recomienda utilizar una mezcladora que se encuentre en correcto estado para que no se presenten problemas en la etapa de fabricación y mezclado de los componentes de fabricación de hormigón.
- 6.** Según la experiencia obtenida, es recomendable adicionar las fibras a la mezcladora a medida que se adicionen los áridos, para luego continuar con el proceso tradicional de fabricación del hormigón.
- 7.** Es recomendable tomar muy en cuenta los cuidados en el curado del hormigón de mejor manera que en el hormigón convencional, con el correcto curado de las muestras cilíndricas, puesto que presentará ventajas relacionadas con el incremento de su tenacidad.

8. Es necesario que la investigación de Hormigones de alta resistencia sea tratada desde otros puntos de análisis técnicos, ya que los diseños y métodos constructivos están en constante evolución, de manera que la presente investigación trata de manera puntual solo el tratamiento y diseño que debe realizarse para la resistencia a la compresión, lo que implican temas a desarrollarse como es el caso de tracción, flexión, flexotracción, cortante, entre otros.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Concrete Institute (ACI), Fiber Reinforced Concrete, Publicación SP-44, Detroit, (1982).
2. ACI 211.4R-08, Guide for selecting Proportions for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash.
3. ACI 363-2R-98, Guía para el Control de Calidad y Pruebas de Concreto de Alta Resistencia.
4. ACI 214-R-02, Evaluación de los Resultados de las Pruebas de Resistencia de Hormigón.
5. ACI 318S-08, Requisito de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario.
6. ASTM C 31, Práctica Normalizada para la Preparación y Curado en Obra de las Probetas para Ensayo del Hormigón.
7. ASTM C 39, Método de Ensayo Estándar para Esfuerzo de Compresión en Especímenes Cilíndricos de Concreto.
8. BASF, Construction Chemical South America, Guía de productos, Aditivo Glenium 3000 NS, disponible en: www.southamerica.basf-cc.com
9. FREDERICK S. MERRITT, Manual del Ingeniero Civil, volumen I, McGRAW-HILL, (1984).

- 10. GONZÁLEZ, Luis, Generalidades sobre las fibras artificiales, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, 2010.**
- 11. INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y EL HORMIGÓN, Hormigones de Alto Desempeño, I Parte.**
- 12. INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y EL HORMIGÓN, Control de Calidad en el Hormigón, II Parte.**
- 13. IMBAQUINGO, Andrea, Diseño de Hormigón de Alto desempeño, Sangolquí, Tesis Escuela Politécnica del Ejército, 2012.**
- 14. MARMOL, Patricia, Hormigones con fibras de acero – Características Mecánicas, Madrid, Tesis Magister Universidad Politécnica de Madrid, 2010.**
- 15. MONTOYA PEDRO; MESEGUER, Hormigón Armado, Catorceava edición, Barcelona, (2000).**
- 16. NOEL J. EVERARD, MSCE, Ph.D. y JOHN L. TANNER III, MSCE, Serie de compendios Schaum “Teoría y Problemas de Diseño de Concreto Armado”, Arlington, Texas, (1966).**
- 17. RAMOS, Heisin, Aplicación de Fibras estructurales a los Pilotes Tipo CPI 8, Tesis de Máster Universidad Politécnica de Catalunya, Madrid, 2012.**

ANEXOS

Anexo 1: Ficha técnica del cemento

CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP	FICHA TÉCNICA ARMADURO	UN PRODUCTO DE LAFARGE CEMENTOS S.A.
DE USO GENERAL ARMADURO es un Cemento Portland Puzolánico Tipo IP, diseñado para la elaboración de toda clase de prefabricados de hormigón, para diferentes usos.		
CARACTERÍSTICAS		
Resistencias <ul style="list-style-type: none">• Permite alcanzar fácilmente las resistencias a la compresión requeridas a todas las edades• En condiciones normales se pueden obtener resistencias a la compresión entre 50 y 60 MPa• Posee un progresivo crecimiento de las resistencias aún después de los 28 días de edad, puede alcanzar hasta un 20% más a los 90 días		
Resistencia a agentes agresivos <ul style="list-style-type: none">• Por su mayor compacidad, los hormigones o morteros son menos permeables e impiden el acceso de agentes agresivos como son: aguas salinas, suelos sulfatados, desechos industriales, aguas servidas, etc.• Contrarresta la reacción álcali sílice• Para aplicaciones con altas concentraciones de sulfatos se puede agregar ciertos minerales a ARMADURO		
Calor de hidratación Desprende menos calor de hidratación que los cementos puros, permitiendo manejar grandes masas de hormigón.		
Durabilidad Una de las características más importantes del cemento ARMADURO es la durabilidad, que es consecuencia de su resistencia a agentes agresivos y su continuo crecimiento de resistencia aún después de los 28 días.		
Presentación Sacos de 50 kg.		
<div data-bbox="487 1585 836 1722">Oficina principal NN.UU. y Amazonas, Edif. La Previsora 4to piso, Ofic. 402. Telfs: 2459 712 / 140 / 939 2272 540 Fax: 2256 091 Quito-Ecuador</div> <div data-bbox="568 1743 755 1837">Servicio al cliente 1800 111 222 1800 LAFARGE</div>		
<div data-bbox="1031 861 1356 1365"></div> <div data-bbox="1177 1680 1404 1890"></div>		

DENOMINACIÓN

- ARMADURO es un Cemento Portland Puzolánico Tipo IP, diseñado para la elaboración de toda clase de prefabricados de hormigón, para diferentes usos
- Cumple con los requerimientos de la norma NTE INEN 490 (Norma Técnica Ecuatoriana) y ASTM C 595
- La fabricación es controlada bajo un sistema de gestión de calidad
- Posee Licencia Ambiental

APLICACIONES

Con este producto se pueden elaborar hormigones para la construcción de:

- Para obras viales: Losas, puentes, pantallas, dovelas, tubos, adoquines, etc.
- Aplicaciones estructurales y ornamentales: Postes, adoquines, bloques, bordillos, viguetas, etc.
- Estructuras de hormigón pre - o - postensado

PRECAUCIONES

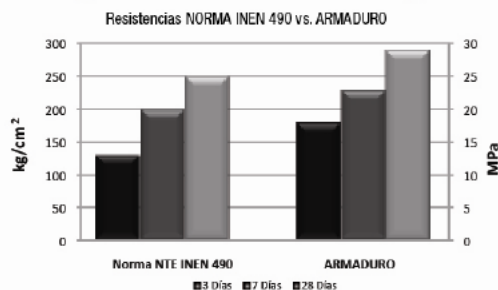
Almacenamiento

- Adquirir el cemento a distribuidores autorizados
- Evitar contacto directo con el suelo
- Evitar contacto con las paredes perimetrales de la bodega
- En ambientes húmedos asegurar una ventilación adecuada
- No exceder los 60 días de almacenamiento

Para aplicación

- Emplear dosificaciones de hormigón diseñadas en un laboratorio calificado
- Corregir periódicamente las mezclas para mantener constante el ratio a/c (la relación agua/cemento)
- Iniciar el curado lo más pronto posible y evitar desecación

Requisitos Mecánicos



Requisitos Químicos

PARÁMETRO	INEN 490	ARMADURO
Pérdida por calcinación	≤ 5 %	1,4%
Magnesio (MgO)	≤ 6 %	2,3%
Sulfatos (SO ₃)	≤ 4 %	2,4%

Requisitos Físicos

PARÁMETRO	INEN 490	ARMADURO
Fraguado inicial	≥ 45 % ≤ 420 min	120 min
Expansión	≤ 0,8 %	0,04%
Contenido del aire	≤ 12 %	4,50%

LAFARGE
damos vida a los materiales™

www.lafarge.com.ec

Anexo 2: Ficha técnica del aditivo



The Chemical Company

GLENIUM® 3000 NS

Aditivo reductor de agua de alto rango para concreto

USOS RECOMENDADOS

- Concreto donde el control de manejabilidad y el tiempo de fraguado son críticos
- Concreto donde se requiera reducción de agua de alto rango (12 a 40%)
- Concreto donde se requieran altas resistencias iniciales y finales y mayor durabilidad
- Producción de mezclas de concreto autocompactante y concreto reodinámico.
- Aplicaciones en construcción subterránea Civil y Minera: shotcrete por vía húmeda o seca, grout, vaciados en masa en tubos, rellenos cementicios o pozos de sondeo.

DESCRIPCION

GLENIUM 3000 NS es un aditivo reductor de agua de alto rango listo para usarse, pertenece a una nueva generación de aditivos patentados basados en la tecnología del policarboxilato. Es muy efectivo en la producción de cemento con diferentes niveles de manejabilidad incluyendo aplicaciones que requieren Concreto Autocompactante o Concreto RHEODYNAMIC™. El concreto reodinámico está en la vanguardia de concretos autocompactantes.

VENTAJAS

- Cumple con la especificación ASTM C 494 para aditivos reductores de agua tipo A y aditivos reductor de agua de alto rango, Tipo F.
- Mezclas de concreto cohesivas sin segregación
- Menor contenido de agua para un asentamiento determinado
- Reducción lineal de agua en todo el rango de dosis recomendado
- Menor costo de producción debido a un vaciado más rápido, mejor acabado y menores costos de curado
- Incremento en el desarrollo de resistencias a compresión y a flexión durante todas sus etapas
- Rotación más rápida de encofrados debido a un rápido desarrollo de resistencias iniciales

CARACTERISTICAS DE DESEMPEÑO

Datos de la Mezcla

Cemento Tipo III, kg/m ³ (lb/yd ³)	390 (658)
Asentamiento, mm(in)	150 (6)
Contenido de aire, %	5-6%
Temperatura del concreto, °C (°F)	18 (65)
Temperatura de fraguado, °C (°F)	18 (65)

Resistencia a compresión

Mezcla	8 h	12 h
Superplastificante convencional (390 psi)	2.7 MPa (390 psi)	21.2 MPa (3090 psi)
GLENIUM 3000 NS	8.5 MPa (1230 psi)	28.2 MPa (4100 psi)

Datos de la Mezcla

Cemento Tipo I, kg/m ³ (lb/yd ³)	390 (658)
Asentamiento, mm(in)	200-225 (8-9)
Contenido de aire, %	Sin aire oculto
Temperatura del concreto, °C (°F)	21 (70)
Reducción de agua, dosis de aditivo ajustada	30%

Tiempo de fraguado

Mezcla	Fraguado	
	Inicial Hr. Min	Diferencia Hr. Min
Concreto normal, o referencia	3:58	-
Superplastificante convencional	7:15	+3:17
GLENIUM 3000 NS	4:42	+0:44

Velocidad de Fraguado

GLENIUM 3000 NS ha sido formulado para producir características de fraguado normales en todo el rango de dosificación recomendada a la vez de mantener una mejor manejabilidad. Los tiempos de fraguado del concreto dependen de la composición física y química de los ingredientes básicos del concreto, temperatura del concreto y condiciones





The Chemical Company

ambientales. Deberán realizarse mezclas de prueba con materiales reales de producción para determinar la dosificación que se requiere para un tiempo de fraguado especificado y una resistencia dada.

Nota: Los datos mostrados están basados en pruebas de laboratorio controladas. Se pueden experimentar variaciones razonables de los resultados aquí mostrados como resultado de las diferencias en los materiales de manufactura del concreto y en las condiciones de la obra.

APLICACION

Dosificación

El rango de dosificación recomendado para el aditivo superplastificante GLENIUM® 3000 NS es de 260-780 ml/100 kg (4-12 oz fl/100 lb) de cemento para la mayoría de las mezclas de concreto. El rango de dosificación aplica a la mayoría de las mezclas de concreto usando ingredientes típicos de concreto. Sin embargo, debido a las variaciones de las condiciones de la obra y de los materiales de concreto como la microsilica, se podrán requerir rangos de dosificación diferentes a los recomendados. En tales casos, contacte a su representante local de BASF Construction Chemicals.

Mezclado

A diferencia de los superplastificantes convencionales, GLENIUM 3000 NS puede adicionarse con el agua inicial de mezclado o agregarse después hasta la adición del agua final a la mezcla.

RECOMENDACIONES

Corrosividad

No corrosivo, No contiene cloruros

GLENIUM 3000 NS no iniciará o promoverá la corrosión del acero reforzado en el concreto, concreto pretensado o concreto colocado en sistemas de pisos y techos de acero galvanizado. No se utilizó cloruro de calcio ni ingredientes a base de cloruro de calcio en la manufactura de GLENIUM 3000 NS.

Compatibilidad

No use GLENIUM 3000 NS con aditivos base naftaleno. Pueden ocurrir comportamientos erráticos en el asentamiento o movimiento del asentamiento. Para instrucciones sobre la evaluación adecuada de GLENIUM 3000 NS en aplicaciones específicas, contacte a su representante de BASF.

Temperatura

Si el aditivo GLENIUM 3000 NS llega a congelar, eleve la temperatura a 7°C (45°F) o a una temperatura mayor y reconstituya el producto por completo con una agitación mecánica ligera. No use aire presurizado para agitar.

ALMACENAMIENTO

GLENIUM 3000 NS tiene una vida útil de 9 meses como mínimo. Dependiendo de las condiciones de almacenamiento, la vida útil puede ser mayor.

EMPAQUE

GLENIUM 3000 NS se suministra en tambores de 208 l (55 gal), en tanques de 1040 l (275 gal) y a granel.

SEGURIDAD

Consulte la Hoja de Datos de Seguridad (MSDS) para este producto.

Para información adicional sobre este producto o para su uso en el desarrollo de mezclas de concreto con características especiales de desempeño, consulte a su representante de BASF Construction Chemicals.

Ecuador										
Quito (296 6011)			Guayaquil (210 967)			Cuenca (204 437)				
BASF Construction Chemicals Latin America										
Argentina (54-34-8843-3000)	Brazil (55-11-6108-6665)	Chile (56-2-4449760)	Colombia (57-1-321-7210)	Costa Rica (506-440-9110)	Ecuador (993-2-256-6011)	México (52-55-2122-2200)	Perú (511-385-0109)	Puerto Rico (787-258-2737)	Rep Dominicana (809-967 9303)	Venezuela (58-212-7626471)

© Marca registrada de BASF Aktiengesellschaft
© 2006 BASF Construction Chemicals Latin America

www.basf-cc-la.com

10/06
Glenium3000NS-ec.pmd

Anexo 3: Ficha Técnica de la fibra metálica.

degussa.

creating essentials

Fibra metálica

USOS RECOMENDADOS

- Pisos comerciales e industriales, sobre terreno
- Hormigón lanzado (Shotcrete)
- Losas de entepiso sobre cubiertas de acero (Losacero)
- Coronamientos
- Pistas de aeropuertos
- Pavimentos de hormigón
- Estructuras hidrodinámicas
- Cimentaciones para equipos
- Prefabricados

DESCRIPCION

Las fibras metálicas son elaboradas a base de alambre con bajo contenido en carbón y acabadas en frío. Se mezcla de manera homogénea en el hormigón, brindando anclaje mecánico. Es un refuerzo confiable y de bajo costo, diseñado para ser mezclado fácilmente, lo que permite una rápida colocación y acabado en el hormigón.

VENTAJAS

- Tiene un diámetro equivalente y un ondulado continuo, a todo lo largo de la fibra, ofreciendo un refuerzo muy superior y un notable control del agrietamiento.
- Es una fibra con alta resistencia a la tensión, que puentea grietas y juntas, ofreciendo mejor anclaje y mejorando notablemente la capacidad de transferencia de cargas.
- Se fabrica en distintas longitudes para utilizarse en distintas aplicaciones.
- Ofrece un hormigón reforzado uniforme y multi direccionalmente.
- En comparación con la barra de acero y la malla, no requiere de mano de obra calificada para su incorporación y colocación.
- Ofrece una mejor programación de proyectos, mayores volúmenes por jornada.
- No requiere de equipo especial para mezclarse, incorporarse o terminarse.
- Es compatible con todos los tipos de cemento y mezclas.
- Está respaldado por nuestro equipo de ingenieros y técnicos, quienes son especialistas en hormigón, los cuales analizan cada proyecto y ofrecen recomendaciones para asegurar el mejor desempeño del

producto y reducción de costos.

FORMAS DE APLICACION

Mezclado

La fibra metálica se puede añadir antes, durante o después del mezclado del hormigón.

El hormigón reforzado y el hormigón lanzado (shotcrete) reforzado con la fibra metálica cumple con el estándar ASTM C94 que se refiere a los requerimientos de uniformidad de mezcla en hormigón premezclado.

Colocación

La fibra metálica puede ser bombeada o colocada sin necesidad de equipo especial. Se puede utilizar desde flotadoras manuales y mecánicas, hasta reglas vibratorias y extendedoras láser.

ACABADO

El hormigón reforzado con fibra metálica puede terminarse con las técnicas convencionales de acabado. En muchos casos es recomendable utilizar llanas de flotado de aluminio o de magnesio y bajar el ángulo de la llana para lograr pisos sin fibras en la superficie.

El personal de Degussa puede determinar la mejor solución para su proyecto.

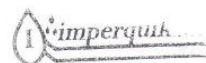
EMPAQUE

Las fibras metálicas se empaquen en cajas de 25 Kg o 30 kg.

RECOMENDACIONES

Es recomendable utilizar guantes y lentes de seguridad al manejar y añadir la fibra metálica al hormigón.

Construction Chemicals



J. Sosaya Oe3 245 y America
Telf. 2566 011 Quito
C.L. El Girasol Av. Interoceánica
Telf. 604 6593 Tumbaco

Anexo 4: Análisis económico del lavado de agregados finos y gruesos.

Datos:

	Cantidad	Densidad Suelta
	m ³	gr/cm ³
RIPIO	890.8	1.19
ARENA	481.4	1.33

Dimensiones de bandeja a utilizar.

a =	1.00 m	
b =	1.00 m	
h =	0.15 m	
Volumen = a x b x h		
Volumen =	0.150m ³	(Vb)

RIPIO:

En la bandeja se colocan 15 kg de material para ser lavados.

Cantidad =	15.00kg	
Volumen =	0.013m ³	(Vr)

Volumen total de ripio a ser lavado.

Cantidad =	890.80kg	
Volumen =	0.75m ³	

Volumen neto de agua a utilizarse para lavar 15 kg ripio.

$$V_1 = V_b - V_r$$
$$V_1 = 0.137\text{m}^3$$

Es necesario lavar por 4 veces cada 15 kg, por tanto.

$$V_{T\text{-agua}} = 4 * V_1$$
$$V_{T\text{-agua}} = 0.55\text{m}^3$$

Por tanto la cantidad necesaria de agua total será.

Para ripio agua
0.013m³ se necesitan 0.55m³

Para 0.75m³ se necesitan X

X= 32.64m³ de agua

Analizando los costos por m³ de agua se tiene.

Costo de agua por m³= 0.50 \$

Para 32.64m³ su costo será = 16.32 \$

ARENA:

En la bandeja se colocan 15 kg de material para ser lavados.

Cantidad = 15.00kg

Volumen = 0.011m³ (Va)

Volumen total de ripio a ser lavado.

Cantidad = 481.40kg

Volumen = 0.36m³

Volumen neto de agua a utilizarse para lavar 15 kg ripio.

$$V_1 = V_b - V_a$$

$$V_1 = 0.139\text{m}^3$$

Es necesario lavar por 5 veces cada 15 kg, por tanto.

$$V_{T-\text{agua}} = 5 * V_1$$

$$V_{T-\text{agua}} = 0.69\text{m}^3$$

Por tanto la cantidad necesaria de agua total será.

Para 0.011m³ ripio se necesitan 0.69m³ agua

Para 0.36m³ se necesitan X

X= 22.26m³ de agua

Analizando los costos por m³ de agua se tiene.

Costo de agua por m³= 0.50 \$

Para 22.26m³ su costo será = 11.13 \$

Las cantidades totales de agua necesarias para lavar los materiales con sus costos directos por metro cúbico, se resumen a continuación:

RESUMEN DE CANTIDAD, VOLUMEN Y COSTO/M3				
Material	Cantidad	Volumen de material	Volumen de agua necesaria	Costo/m ³
	Kg	m ³	m ³	\$
RIPIO	890.8	0.75m ³	32.64m ³	16.32
ARENA	481.4	0.36m ³	22.26m ³	11.13
(2) COSTO TOTAL DE AGUA (\$) =				27.45

Costo de producción de hormigón de alta resistencia **(1)** = 121.06 \$/m³

Costo Total **(1) + (2)** = 148.51 \$/m³

Porcentaje de incremento del costo de producción / m³ = 22.70 %

Anexo 5: Norma utilizada para la dosificación ACI 211-4R.08

ACI 211.4R-08

Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete Using Portland Cement and Other Cementitious Materials

Reported by ACI Committee 211

Frank A. Kozeliski
Chair

Ed T. McGuire
Secretary

William L. Barringer*
Muhammed P. A. Basheer
Casimir Bognacki
Michael J. Boyle*
Marshall L. Brown
Ramon L. Carrasquillo
James E. Cook*
John F. Cook
Raymond A. Cook
David A. Crocker
D. Gene Daniel*
François de Larrard

Donald E. Dixon
Calvin L. Dodl
Darrell F. Elliot*
Timothy S. Folks
G. Terry Harris, Sr.
Richard D. Hill
David L. Hollingsworth
Said Iravani
Tarif M. Jaber[†]
Robert S. Jenkins
Gary Knight
Colin L. Lobo

Allyn C. Luke*
Howard P. Lux
Gary R. Mass
Warren E. McPherson, Jr.
Jon I. Mullarky
H. Celik Ozyildirim
Dipak T. Parekh
James S. Pierce
James Don Powell
Steven A. Ragan
Royce J. Rhoads
John P. Ries

G. Michael Robinson
Anton Karel Schindler
James M. Shilstone, Sr.
Ava Shypula*
Jeffrey F. Speck
William X. Sypher
Stanley J. Virgalitte
Woodward L. Vogt
James A. Wamelink
Michael A. Whisonant
Dean J. White, II
Richard M. Wing

*Subcommittee members who prepared this report.

[†]Subcommittee Chair.

The committee would like to recognize Tony Kojundic, Robert Lewis, and Michael Gardner for their significant contributions to this report.

This guide presents general methods for selecting mixture proportions for high-strength concrete and optimizing these mixture proportions on the basis of trial batches. The methods are limited to high-strength concrete containing portland cement and fly ash, silica fume, or slag cement (formerly referenced as ground-granulated blast-furnace slag) and produced using conventional materials and production techniques.

Recommendations and tables are based on current practice and information provided by contractors, concrete suppliers, and engineers who have been involved in projects dealing with high-strength concrete.

Keywords: aggregate; fly ash; high-range water-reducing admixture; high-strength concrete; mixture proportion; quality control.

ACI Committee Reports, Guides, Manuals, Standard Practices, and Commentaries are intended for guidance in planning, designing, executing, and inspecting construction. This document is intended for the use of individuals who are competent to evaluate the significance and limitations of its content and recommendations and who will accept responsibility for the application of the material it contains. The American Concrete Institute disclaims any and all responsibility for the stated principles. The Institute shall not be liable for any loss or damage arising therefrom.

Reference to this document shall not be made in contract documents. If items found in this document are desired by the Architect/Engineer to be a part of the contract documents, they shall be restated in mandatory language for incorporation by the Architect/Engineer.

CONTENTS

Chapter 1—Introduction and scope, p. 211.4R-2

- 1.1—Introduction
- 1.2—Scope

Chapter 2—Notation and definitions, p. 211.4R-2

- 2.1—Notation
- 2.2—Definitions

Chapter 3—Performance requirements, p. 211.4R-2

- 3.1—Test age
- 3.2—Required average compressive strength f'_{cr}
- 3.3—Other requirements

Chapter 4—Concrete materials, p. 211.4R-3

- 4.1—Introduction
- 4.2—Portland cement
- 4.3—Fly ash

ACI 211.4R-08 supersedes ACI 211.4R-93 and was adopted and published December 2008.

Copyright © 2008, American Concrete Institute.

All rights reserved including rights of reproduction and use in any form or by any means, including the making of copies by any photo process, or by electronic or mechanical device, printed, written, or oral, or recording for sound or visual reproduction or for use in any knowledge or retrieval system or device, unless permission in writing is obtained from the copyright proprietors.

Anexo 6: Fotografías varias



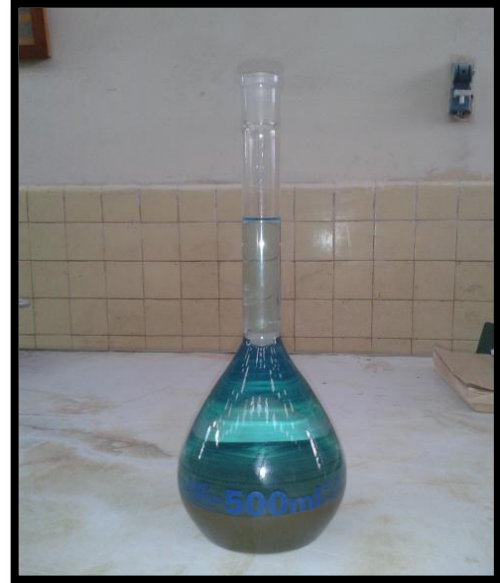
Fotografía 1: Lavado de agregado grueso.



Fotografía 2: Ensayo de colorimetría



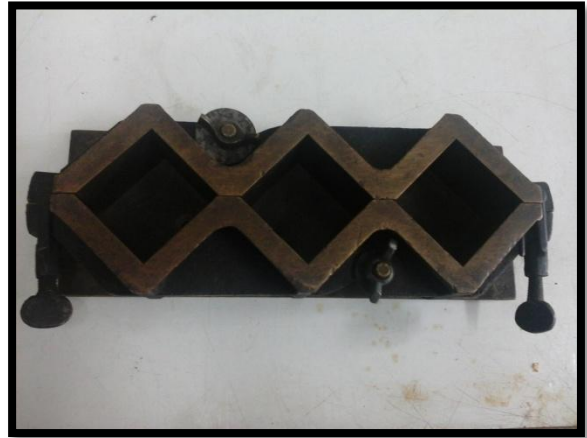
Fotografía 3: Ensayo de densidad compactada de los agregados.



Fotografías 4 y 5: Ensayo de Densidad real del cemento-Método Lechatellier y del Picnómetro.



Fotografía 6: Ensayo de consistencia normal.



Fotografías 7 y 8: Ensayo de resistencia cúbica de mortero.



Fotografía 9: Mezclado del Hormigón.



Fotografía 10: Colocación del hormigón en el Cono de Abrams.



Fotografía 11: Compactación del Hormigón.



Fotografía 12: Determinación de Asentamiento.



Fotografía 13: Toma de muestra cilindros de 10x20 cm.



Fotografía 14 y 15: Colocación de capping y embalaje de probetas cilíndricas.



Fotografía 16 y 17: Plano de falla por compresión simple – mezcla patrón.



Fotografía 18 y 19: Plano de falla por compresión simple – mezcla definitiva.